

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO PARANÁ
ESCOLA POLITÉCNICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO E
SISTEMAS

FILIPPE ESMANIOTO MEIRA

AVALIAÇÃO DA INTEROPERABILIDADE DO CICLO DE VIDA DE UMA
CONSTRUÇÃO CIVIL EM BIM SOB A ÓTICA DE PROCESSOS

CURITIBA
2019

FILIPPE ESMANIOTO MEIRA

**AVALIAÇÃO DA INTEROPERABILIDADE DO CICLO DE VIDA DE UMA
CONSTRUÇÃO CIVIL EM BIM SOB A ÓTICA DE PROCESSOS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas da Universidade Católica do Paraná, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção e Sistemas.

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Rocha Loures

Coorientador: Prof. Dr. Eduardo Alves Portela Santos

CURITIBA

2019

TERMO DE APROVAÇÃO

FILIPESMANIOTO MEIRA

AVALIAÇÃO DA INTEROPERABILIDADE DO CICLO DE VIDA DE UMA CONSTRUÇÃO CIVIL EM BIM SOB A ÓTICA DE PROCESSOS

Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre no Curso de Mestrado em Engenharia de Produção e Sistemas, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas, da Escola Politécnica da Pontifícia Universidade Católica do Paraná, pela seguinte banca examinadora:



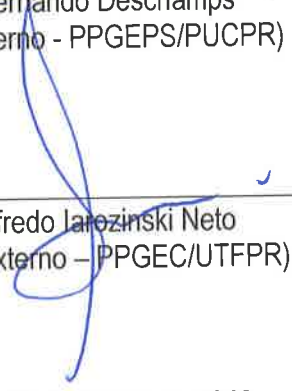
Presidente da Banca
Prof. Dr. Eduardo Rocha Loures
(Orientador)



Prof. Dr. Eduardo Alves Portela Santos
(Coorientador)



Prof. Dr. Fernando Deschamps
(Membro Interno - PPGEPS/PUCPR)



Prof. Dr. Alfredo Iarozinski Neto
(Membro Externo - PPGEPS/UTFPR)

Curitiba, 19 de junho de 2019.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha família pelo apoio incondicional em todos os momentos, meus pais Argemiro e Ariadenes, meu avô Salvino e minha namorada Bruna.

Agradeço aos meus grandes amigos Natan e Marina, pela parceria ao longo de todos esses anos.

Ao meu orientador professor Dr. Eduardo de Freitas Rocha Loures, todo meu respeito e consideração por todo trabalho e dedicação para com seus alunos.

Agradeço muito ao professor e coorientador do PPGEPS, Dr. Eduardo Alves Portela Santos e Dr. Fernando Deschamps, pelo apoio no trabalho e pelo conhecimento obtido através das aulas.

*“Em tudo somos oprimidos, mas não sucumbimos.
Vivemos em completa penúria, mas não desesperamos.
Somos perseguidos, mas não ficamos desamparados.
Somos abatidos, mas não somos destruídos.”*
II Coríntios 4, 8-9.

RESUMO

Para a execução de um empreendimento da construção civil é necessário o envolvimento de muitos profissionais, desde as fases preliminares de elaboração dos projetos até a fase de demolição. Neste sentido, identificam-se arquitetos, engenheiros estruturais, elétricos, hidráulicos, ar condicionado e outros, refletindo certa complexidade na coordenação dos processos. A heterogeneidade dos atores envolvidos em uma obra de construção civil e a correta comunicação, alinhamento e condução dos processos são elementos que ditam a qualidade das obras, caracterizando uma problemática de interoperabilidade em evidência no setor. Nesse sentido, surge o sistema BIM (Building Information Modelling) oferecendo soluções para a melhoria na execução dos processos, assim como tratativas para a comunicação entre as fases do ciclo de vida da construção civil no tocante a transmissão e consumo de informação. Porém, devido a utilização do BIM nas empresas ser ainda recente, é necessário avaliar se o uso desta ferramenta está realmente proporcionando ganhos de interoperabilidade em relação ao método de trabalho tradicional. Diante disso, foram modelados os processos envolvidos nas diferentes fases do referido ciclo de vida - nas empresas que não utilizam o BIM, o instrumento de coleta foi a folha de tarefa e, para um cenário de utilização do BIM, a coleta de dados se deu através de entrevistas com aplicação do método Delphi. O diagnóstico obtido com os cenários modelados sob a perspectiva de processos, sob abordagem metodológica específica, permitiu avaliar se a utilização do BIM tem melhorado a interoperabilidade do ciclo de vida da construção civil. A análise realizada foi de uma estrutura de concreto armado, escolha esta, dada pela sua representatividade ao longo do ciclo de uma obra e sua importância na construção civil, sendo um dos sistemas construtivos mais difundidos no Brasil. Os resultados obtidos neste trabalho mostram que existe um grande ganho de interoperabilidade com a utilização do sistema BIM em relação ao processo tradicional, ao mesmo tempo que revelam oportunidades para melhorias e definição de um plano diretor para o setor.

Palavras-chave: BIM. Building Information Modeling. Ciclo de Vida. Processos. Interoperabilidade. Construção Civil. Concreto Armado.

ABSTRACT

For the execution of a civil construction project, it is necessary the involvement of many professionals, from the preliminary phases of elaboration of the projects until the demolition phase. In this sense, architects, structural engineers, electrical, hydraulic, air conditioning and others are identified, reflecting a certain complexity in the coordination of processes. The heterogeneity of the actors involved in a civil construction work and the correct communication, alignment and conduction of the processes are elements that dictate the quality of the works, characterizing a problematic of interoperability in evidence in the sector. In this sense, the BIM (Building Information Modeling) system emerges offering solutions for the improvement in the execution of the processes, as well as negotiations for the communication between the phases of the life cycle of the civil construction in the transmission and consumption of information. However, because the use of BIM in the companies is still recent, it is necessary to evaluate if the use of this tool is actually providing gains of interoperability in relation to the traditional working method. Thus, the processes involved in the different phases of the life cycle were modeled, in the companies that do not use the BIM, the instrument of collection was the task sheet and, for the processes that use BIM, the data collection was given through interviews with application of the Delphi method and, with this information, the current situation of the market was portrayed. The diagnosis obtained with the current scenarios, under a specific methodological approach, allowed to evaluate if the use of BIM has improved the interoperability of the civil construction life cycle. The analysis was made of a reinforced concrete structure, chosen because of its representativeness throughout the cycle of a work and its importance in civil construction, being one of the most widespread construction systems in Brazil. The results obtained in this work show that there is a great gain of interoperability with the use of the BIM system in relation to the traditional process, while revealing opportunities for improvement.

Key-words: BIM. Building Information Modeling. Life Cycle. Processes. Interoperability. Construction. Reinforced Concrete.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 Estrutura da abordagem metodológica.	24
Figura 2 Escopo Pesquisa BIM no PPGEPS - PUCPR.	26
Figura 3 IDEF0 da abordagem metodológica.	29
Figura 4 Barreiras de interoperabilidade entre as fases do ciclo e seus agentes externos.	32
Figura 5 IDEF0 da metodologia dos processos AS-IS.	35
Figura 6 IDEF0 da metodologia dos processos TO-BE.	36
Figura 7 Fluxograma de registros de manutenção.	40
Figura 8 Estrutura relacionando fluxo de informações com fases de projeto, fabricação e construção de um empreendimento.	46
Figura 9 Modelo de processo em BIM para estruturas de concreto armado.	48
Figura 10 Processo de construção de uma estrutura de concreto armado.	51
Figura 11 Folhas tarefas para definição de processo (A) e identificação de tarefas (B)	56
Figura 12 Framework de Chen – FEI (Perspectivas e Barreiras).	58
Figura 13 Ciclo de vida de uma estrutura de concreto armado relacionado com requisitos de interoperabilidade.	60
Figura 14 Normas dentro de cada etapa do ciclo de vida.	62
Figura 15 Repositório BIM.	80
Figura 16 Requisito de interoperabilidade de processos.	82
Figura 17 Conclusão da etapa 2 e informações passadas para a etapa 4.	83
Figura 18 Conclusão da etapa 2 e informações passadas para a etapa 4.	84
Figura 19 Adaptação da folha de caracterização da empresa.	86
Figura 20 Adaptação da folha de identificação das tarefas.	87
Figura 21 Etapas do Método Delphi.	89
Figura 22 Sequência dos instrumentos utilizados para a modelagem dos processos AS-IS.	91
Figura 23 Sequência dos instrumentos utilizados para a modelagem dos processos AS-IS.	91
Figura 24 IDEF0 apresentando as etapas 3.1 e 3.2 da metodologia.	92
Figura 25 Caracterização da empresa de projetos.	94
Figura 26 Tarefas envolvidas na atividade de projetos.	95

Figura 27 Forma de mapeamento adotado.	96
Figura 28 FT de caracterização de empresa preenchida pela empresa de construção.....	97
Figura 29 Tarefas envolvidas na atividade de construção.	99
Figura 30 Tarefas envolvidas na atividade de construção.	100
Figura 31 Folha de caracterização da empresa de manutenção.....	101
Figura 32 Tarefas identificadas com a descrição do processo de manutenção.	103
Figura 33 Melhoria da modelagem do processo com a utilização das FT's.	104
Figura 34 Tarefas identificadas com a descrição do processo de manutenção.	105
Figura 35 Tarefas identificadas com a descrição do processo de demolição.	107
Figura 36 Melhoria do mapeamento de processo de demolição com a utilização da as FT	108
Figura 37 IDEF0 mostrando a etapa AS-IS em relação ao processo.....	110
Figura 38 IDEF0 etapa 3.2.	111
Figura 39 Metodologia para modelagem dos processos TO-BE.....	111
Figura 40 Fragmento de processo de projeto preliminar.....	113
Figura 41 Repositório BIM.....	113
Figura 42 Montagem do processo preliminar de construção TO-BE.....	114
Figura 43 Fragmento do processo preliminar de manutenção corretiva.	115
Figura 44 Fragmento do processo de manutenção corretiva em BIM.....	116
Figura 45 Processo de demolição preliminar em BIM.	117
Figura 46 Alteração no processo preliminar de projetos.	121
Figura 47 Alteração do processo de construção preliminar.	123
Figura 48 Alteração do processo preliminar de manutenção.	124
Figura 49 Alteração do processo preliminar de demolição através das respostas dos especialistas.....	126
Figura 50 Segunda mudança de processo através dos questionários.	127
Figura 51 Mudanças de processo na segunda rodada Delphi.	128
Figura 52 IDEF0 da etapa de avaliação da interoperabilidade.....	130
Figura 53 Tarefas do ciclo de vida AS-IS que atendem as normas.....	139
Figura 54 Tarefas do ciclo de vida TO-BE que atendem as normas.	139
Figura 55 Pontuação do critério de processo para os ciclos de vida AS-IS e TO-BE	151
Figura 56 Número de interações do critério de serviço.	154

Figura 57 Análise da documentação gerada dentro dos ciclos do AS-IS e TO-BE.	157
Figura 58 IDEF0 da Avaliação de interoperabilidade.	157
Figura 59 Melhoria da interoperabilidade AS-IS x TO-BE.	160

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 Tarefas de projetos relacionadas com os agentes externos e outras fases do ciclo de vida.....	68
Quadro 2 Tarefas de projetos relacionadas com os agentes externos e outras fases do ciclo de vida.....	72
Quadro 3 Tarefas de manutenção relacionadas com os agentes externos e outras fases do ciclo de vida.	75
Quadro 4 Tarefas de demolição relacionadas com os agentes externos.	77
Quadro 5 Classificação das empresas entrevistadas.....	109
Quadro 6 Tarefas do processo de projeto AS-IS que atendem as normas.	131
Quadro 7 Tarefas do processo de projeto TO-BE que atendem as normas.	132
Quadro 8 Tarefas do processo de construção AS-IS que atendem as normas.....	134
Quadro 9 Tarefas do processo de construção TO-BE que atendem as normas.	134
Quadro 10 Tarefa do processo de manutenção AS-IS que atendem as normas. ...	135
Quadro 11 Tarefas do processo de manutenção TO-BE que atendem as normas.	136
Quadro 12 Tarefas do processo de demolição AS-IS que atendem as normas.....	137
Quadro 13 Tarefas do processo de demolição TO-BE que atendem as normas. ...	138
Quadro 14 Contagem de tarefas totais dos ciclos de vida AS-IS e TO-BE.	140
Quadro 15 Retirada das tarefas exclusivas do BIM para comparação.....	141
Quadro 16 Comparação de tarefas semelhantes.	141
Quadro 17 Definição das tarefas equivalentes.....	142
Quadro 18 Tarefa exclusivas de cada um dos processos.	142
Quadro 19 Retirada das tarefas exclusivas do BIM para comparação.....	143
Quadro 20 Comparação das tarefas semelhantes.	144
Quadro 21 Definição das tarefas exclusivas de cada um dos dois processos.	145
Quadro 22 Definição das tarefas exclusivas de cada um dos dois processos.	145
Quadro 23 Retirada das tarefas exclusivas da utilização do BIM para comparação.	146
Quadro 24 Comparação das tarefas semelhantes.	147
Quadro 25 Definição das tarefas equivalentes.....	147
Quadro 26 Definição das tarefas exclusivas de cada um dos processos.....	147
Quadro 27 Remoção das tarefas exclusivas do BIM.....	148
Quadro 28 Comparação das tarefas semelhantes.	149

Quadro 29 Definição das tarefas equivalentes.....	149
Quadro 30 Definição das tarefas exclusivas de cada um dos processos.....	150
Quadro 31 Contagem da comunicação entre agentes para aquisição de informação.	152
Quadro 32 Contagem da comunicação entre agentes para aquisição de informações.	153
Quadro 33 Número de documentos gerados na etapa de projeto AS-IS e TO-BE.	155
Quadro 34 Número de documentos gerados dentro dos processos de construção A- IS e TO-BE.	155
Quadro 35 Número de documentos gerados dentro dos processos de manutenção AS-IS e TO-BE.	156
Quadro 36 Número de documentos gerados dentro dos processos de demolição AS- IS e TO-BE.	156
Quadro 37 Conclusão da avaliação de interoperabilidade.	158
Quadro 38 Normalização dos resultados.	158

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	18
1.1	PROBLEMA DE PESQUISA.....	21
1.2	OBJETIVOS DE PESQUISA	22
1.2.1	Objetivos Específicos.....	23
1.3	DELIMITAÇÃO DO TRABALHO	23
1.4	ABORDAGEM METODOLÓGICA	24
1.5	ESCOPO DE PESQUISA	25
1.6	ESTRUTURA DO DOCUMENTO	27
2	METODOLOGIA DE DESENVOLVIMENTO.....	28
2.1	ETAPA PRELIMINAR – ESTUDO PRELIMINARES E JUSTIFICATIVA DO ESTUDO	30
2.2	PARTE 1 – DESENVOLVIMENTO DA REVISÃO DA LITERATURA	31
2.3	PARTE 2 – DEFINIÇÃO DOS REQUISITOS DE INTEROPERABILIDADE ...	33
2.4	PARTE 3.1 – MODELO DE PROCESSO AS-IS.....	34
2.5	PARTE 3.2 – MODELO DE PROCESSO TO-BE	36
2.6	PARTE 4 – AVALIAÇÃO DA INTEROPERABILIDADE	36
3	REVISÃO DA LITERATURA.....	38
3.1	CICLO DE VIDA EM CONSTRUÇÃO CIVIL.....	38
3.1.1	Projeto	38
3.1.2	Construção.....	39
3.1.3	Operação e Manutenção	39
3.1.4	Demolição.....	40
3.2	BIM	41
3.2.1	Processo em BIM	42
3.2.2	Etapa de Projetos em BIM.....	43
3.2.3	Etapa de Construção em BIM	49
3.2.4	Etapa de Manutenção em BIM	52
3.2.5	Etapa de Demolição em BIM	53
3.3	ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO	53
3.4	FOLHAS DE TAREFA	55
3.5	INTEROPERABILIDADE – REQUISITOS SOB A ÓTICA DE PROCESSO ...	57
3.6	REQUISITOS DE NEGÓCIOS	60
3.6.1	Projeto – NBR 6118.....	62

3.6.2	Construção – NBR 14931	69
3.6.3	Manutenção – NBR 5674	73
3.6.4	Demolição – NBR 5682	76
3.7	REQUISITO DE PROCESSOS	78
3.8	REQUISITO DE SERVIÇOS.....	79
3.9	REQUISITO DE INFORMAÇÃO	81
3.10	SÍNTESE DOS REQUISITOS DE INTEROPERABILIDADE	82
4	COMPONENTES INSTRUMENTAIS	84
4.1	MAPEAMENTO DE PROCESSOS.....	84
4.2	FOLHAS DE TAREFA	85
4.3	MÉTODO DELPHI	88
4.4	BPMN	89
4.5	SÍNTESE INSTRUMENTAL.....	90
5	DESENVOLVIMENTO.....	92
5.1	MODELAGEM DO PROCESSO AS-IS.....	93
5.1.1	Processo AS-IS de Projeto.....	93
5.1.2	Processo AS-IS de Construção	97
5.1.3	Processo AS-IS de Manutenção e Operação.....	101
5.1.4	Processo AS-IS de Demolição.....	105
5.1.5	Considerações finais da pesquisa AS-IS.....	109
5.2	MODELAGEM DO PROCESSO TO-BE	110
5.2.1	Modelagem dos Processos Preliminares	112
5.2.1.1	Processo Preliminar de Projeto	112
5.2.1.2	Processo Preliminar de Construção	113
5.2.1.3	Processo Preliminar de Manutenção	114
5.2.1.4	Processo Preliminar de Demolição.....	116
5.2.2	Desenvolvimento de questionários Delphi.....	117
5.2.2.1	Perfil dos entrevistados	118
5.2.3	PRIMEIRA RODADA DELPHI	119
5.2.3.1	Fase de Projeto	120
5.2.3.2	Fase de Construção	121
5.2.3.3	Fase de Manutenção	124
5.2.3.4	Fase de Demolição.....	125
5.2.4	Segunda Rodada Delphi.....	127

5.2.4.1 Fase de Projeto	127
5.2.4.2 Fase de Construção	128
5.2.4.3 Fase de Manutenção	128
5.2.4.4 Fase de Demolição	129
5.2.5 Considerações da Pesquisa TO-BE	129
6 AVALIAÇÃO DA INTEROPERABILIDADE	130
6.1 CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO	130
6.1.1 Critério da Perspectiva de Negócio.....	130
6.1.1.1 Processo da Fase de Projeto AS-IS	131
6.1.1.2 Processo da Fase de Projeto TO-BE.....	132
6.1.1.3 Processo da Fase de Construção AS-IS	133
6.1.1.4 Processo da Fase de Construção TO-BE.....	134
6.1.1.5 Processo da Fase de Manutenção AS-IS.....	134
6.1.1.6 Processo da Fase de Manutenção TO-BE	136
6.1.1.7 Processo da Fase de Demolição AS-IS.....	137
6.1.1.8 Processo da Fase de Demolição TO-BE	137
6.1.1.9 Discussão dos Resultados	138
6.1.2 Critério da Perspectiva de Processo.....	140
6.1.2.1 Processo Fase de Projetos.....	140
6.1.2.2 Processo Fase de Construção	143
6.1.2.3 Processo Fase de Manutenção	146
6.1.2.4 Processo Fase de Demolição	148
6.1.2.5 Discussão dos Resultados	150
6.1.3 Critério da Perspectiva de Serviço.....	151
6.1.3.1 Discussão dos Resultados	153
6.1.4 Critério da Perspectiva de Informação	154
6.1.4.1 Documentos Gerados na Fase de Projeto.....	154
6.1.4.2 Documentos Gerados na Fase de Construção.....	155
6.1.4.3 Documentos Gerados na Fase de Manutenção	155
6.1.4.4 Documentos Gerados na Fase de Demolição	156
6.1.4.5 Discussão dos Resultados.	156
6.2 DISCUSSÃO GERAL DA AVALIAÇÃO	157
7 CONCLUSÃO.....	159
REFERENCIAL TEÓRICO.....	162

APÊNDICE A – FORMULÁRIO DE ENTREVISTA COM EMPRESA DE PROJETOS.....	168
APÊNDICE B – FORMULÁRIO DE ENTREVISTA COM EMPRESA DE CONSTRUÇÃO.....	178
APÊNDICE C – FORMULÁRIO DE ENTREVISTA COM EMPRESA DE MANUTENÇÃO	190
APÊNDICE D – FORMULÁRIO DE ENTREVISTA COM EMPRESA DE DEMOLIÇÃO..	199
APÊNDICE E – MAPEAMENTO DOS PROCESSOS AS-IS.....	209
APÊNDICE F – MAPEAMENTO DOS PROCESSOS PRELIMINAR TO-BE	213
APÊNDICE G – PRIMEIRA RODADA DELPHI E PERFIL DOS ESPECIALISTAS.....	218
APÊNDICE H – PRIMEIRA RODADA DELPHI E PERFIL DOS ESPECIALISTAS.....	226
APÊNDICE I – PRIMEIRA RODADA DELPHI E PERFIL DOS ESPECIALISTAS	231
APÊNDICE J – MODELO FINAL TO-BE.....	239
APÊNDICE K – ARTIGO “DATA INTEROPERABILITY ASSESSMENT THOUGH IFC FOR BIM IN STRUCTURAL DESIGN – A FIVE-YEAR GAP ANALYSIS”	244
APÊNDICE L ARTIGO “A SYSTEMATIC LITERATURE REVIEW OF INTEROPERABILITY IN THE GREEN BUILDING INFORMATION MODELING LIFECYCLE”	257

1 INTRODUÇÃO

A construção civil, ou sob uma ótica mais ampla - a AEC (Arquitetura, Engenharia e Construção), possui diversas características que a diferenciam das demais atividades industriais, seja por seu caráter temporário, ou pelo fato de que toda construção é um produto único. Nela, o elemento mais desafiador é a grande quantidade de profissionais envolvidos em todo o seu ciclo de vida. Segundo Wong et al. (2015), a comunicação entre esses profissionais, partes interessadas e empresas, tem que acontecer de forma correta em todas as fases do ciclo de vida de um empreendimento.

Este ciclo de vida pode ser dividido nas seguintes fases – projeto, construção, operação e manutenção e, por fim a demolição (WONG et al., 2015). A fase de projeto de uma estrutura de concreto segundo a NBR 6118 (ABNT, 2014), consiste em uma solução estrutural, que deve atender os requisitos relativos à resistência às cargas impostas, ao desempenho de serviço pretendido e a durabilidade frente ao meio ambiente. Esta etapa é concluída com a entrega dos projetos e especificações, contendo informações suficientes para a execução da estrutura.

A execução da estrutura tem seu início com o recebimento dos projetos e seu término com a entrega da estrutura finalizada. Os procedimentos até a conclusão da estrutura são especificadas pela respectiva norma de execução de estruturas de concreto NBR 14931 (ABNT, 2004). A operação da estrutura consiste em sua utilização ao longo dos anos, devendo sempre respeitar o que foi estabelecido no projeto e pela construção através do manual do proprietário. Os documentos necessários para a construção de uma estrutura de concreto são estabelecidos tanto pela norma de projeto quanto pela norma de execução, sendo complementada pela norma de manutenção de edificações, a NBR 5674 (ABNT, 2012).

A manutenção é uma fase que segue ao longo da operação até o fim do ciclo de vida da edificação. Segundo a norma de manutenção já citada, a omissão ou a realização precária da manutenção pode vir a interromper a operação causando até mesmo a demolição prematura da estrutura. A fase final do ciclo de vida é marcada pela demolição, que é a eliminação completa dos elementos da estrutura, em uma data e horário específico (MARTINS, 2017).

Cada uma dessas fases, apesar de ter processos de trabalho diferentes, precisam ser interoperáveis entre si, ou seja, não pode haver perda de informação ou

falha de coordenação no fluxo informacional em cada fase e, principalmente, nas transições do ciclo de vida. A manutenção da interoperabilidade no espaço intra e inter fases é fundamental para o bom desempenho dos processos do ciclo de vida da construção. A ótica de processos é, portanto, muito relevante à avaliação da interoperabilidade, permitindo a identificação de fragilidades no entendimento e coordenação de toda informação envolvida, assim como no atendimento normativo incidente em todo ciclo.

Nesse cenário emerge a tecnologia BIM que, segundo Eastman (2011), é o desenvolvimento mais promissor do setor da construção civil, pois possibilita a construção de modelos virtuais da construção, identificando falhas e facilitando a troca de informações que, geralmente dentro da construção civil, é fragmentada em documentos de papel, sendo a causa de diversos erros e perda de informações. Além dessa primeira fase de projeto, o sistema BIM, segundo o autor, possui funções necessárias para modelar o ciclo de vida de uma construção.

Dada a importância da interoperabilidade dentro da construção civil, o objetivo deste estudo é avaliar, sob a ótica de processos, qual o ganho de interoperabilidade entre as fases do ciclo de vida de uma construção e seus agentes externos¹, de uma estrutura de concreto armado utilizando o BIM em relação ao processo tradicional, no cenário atual. Essa avaliação será feita através de requisitos de interoperabilidade associados a perspectivas de negócios, processos, serviços e informação, utilizando como base o framework de Chen (2006). No presente trabalho o requisito de negócio refere-se à compatibilidade com as normas brasileiras de cada etapa do ciclo; o requisito de processo relaciona-se ao detalhamento dos processos modelados; o requisito de serviço associa-se à forma de transferência da informação e por último, o requisito de informação é relacionado com a fragmentação de informação ao longo do ciclo de vida.

A escolha da modelagem do ciclo de vida deste componente estrutural (concreto armado) é devido a sua função amplamente utilizada em obras civis de todas as categorias, abrangendo uma grande área dentro da AEC. Segundo o IBRACON (Instituto Brasileiro do Concreto), o concreto pode ser encontrado desde casas até usinas nucleares, sendo estimado um consumo anual no mundo de 11 bilhões de toneladas, perdendo apenas para o consumo de água (PEDROSO, 2009).

¹ Agente externo para essa dissertação, será toda pessoa ou empresa externa a fase do ciclo de vida, necessária para realização de uma tarefa

No Brasil, o concreto armado é um dos principais sistemas construtivos, sendo que a norma brasileira de concreto NBR 6118 (ABNT, 2014), é reconhecido pela ISO (*International Organization for Standardization*) como uma norma que pode ser utilizada em qualquer lugar do mundo, segundo a ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland) (ABCP, 2014).

A ferramenta utilizada para modelagem dos processos envolvidos no ciclo de vida de uma estrutura de concreto armado será o BPMN. No mapeamento dos processos, o *Business Process Modeling Notation* (BPMN) facilita o entendimento do fluxo de trabalho pelos participantes, tornando mais fácil a definição de responsabilidades e implementação de melhorias ao processo (MARTINS, 2017). Percebe-se seu uso na área de construção civil para modelagem de processos de diferentes naturezas, como por exemplo na tese de Abdelhady (2013), onde é desenvolvido um novo modelo de negócio utilizando o BPMN com suporte para a implementação do BIM em empresas de médio porte. Na dissertação de Amarilla (2013) também utiliza-se o BPMN para modelar os processos de negócios de empresas de pequeno porte dentro do subsetor de edificações da construção civil.

Para a avaliação da interoperabilidade relativa aos processos, serão modelados todos os processos do ciclo de vida em suas fases (projeto, construção, manutenção/operação e demolição) de forma separada, ou seja, contendo os processos internos de cada fase e os agentes externos participantes. Os modelos de processo resultantes sem a plataforma BIM, são obtidos através de entrevistas em empresas de construção civil atuantes em cada uma das fases do ciclo de vida. Tem-se, desta forma, uma perspectiva atual de quais tarefas são realizadas pelas empresas que não utilizam o BIM em seus processos, sendo os modelos resultantes nomeados de “AS-IS”. Analogamente, serão modelados os processos considerando a utilização da plataforma BIM, nomeados “TO-BE”, através de entrevista com especialistas usuários BIM ou que possuem conhecimento acadêmico sobre BIM, esse processo modelo será então utilizado como um modelo referencial para esse trabalho, não tendo a pretensão de ser um modelo de processo final para a utilização de BIM nas empresas.

De posse dos modelos “AS-IS” e “TO-BE”, serão analisados quais dos processos atendem mais aos requisitos de interoperabilidade identificados pela revisão das normas e da literatura. Esse atendimento da interoperabilidade será avaliado de forma quantitativa, permitindo determinar qual o seu ganho

(interoperabilidade) sob a perspectiva de processos do ciclo de vida de uma estrutura de concreto armado, com a utilização do sistema BIM em relação ao processo tradicional.

1.1 PROBLEMA DE PESQUISA

A comunicação entre as fases do ciclo de vida é tema de discussão a muito tempo dentro da construção civil. Doyle (1989) comenta em seu artigo a quase 30 anos atrás, que era necessário reduzir o que ele chamava de fragmentação da AEC (arquitetura, engenharia e construção). Para o autor existem dois níveis de fragmentação, a vertical (entre as fases de projetos, construção, manutenção e demolição) e a horizontal (no caso de mais de um escritório, por exemplo, realizar o projeto de um mesmo empreendimento).

Nesse mesmo sentido, Doyle explica que a falta de integração entre os planejadores, designers, financiadores, construtores e os operadores de instalações construídas perdem oportunidades importantes de melhorar o desempenho do projeto. Uma das soluções apontadas ainda naquela época foi a utilização de tecnologias da computação que pudessem guardar as informações e unir os conhecimentos de diversas áreas, reduzindo essa fragmentação de informação e conhecimentos.

Ainda sobre essa dificuldade de integração, Luiten et al. (1998) em seu artigo, estuda a questão da comunicação entre a fase de projetos e construção. Os autores afirmam que a AEC é muito fragmentada e que existem muitas barreiras culturais, além de conflitos de interesse. Por exemplo, a minimização do esforço de design pode ser interessante para arquitetos e engenheiros estruturais, mas conflita com a necessidade de informações para a melhoria da construtibilidade para os contratantes e operadores. Para resolver essas questões é dito que é necessário um sistema de informação para facilitar a comunicação entre os projetistas e construtores.

Fabricio (2002) explica, que na construção civil, os ciclos de vida são muito longos e compreendem diversas fases. Durante esse ciclo de vida estão envolvidos diversos agentes independentes, com diferentes papéis e objetivos junto ao empreendimento. E para superar possíveis barreiras, ele defende a utilização da engenharia simultânea, que é a consideração antecipada, durante a concepção e projeto de todo o ciclo de vida de um produto, das demandas dos clientes internos

(outras fases do ciclo de vida) e externos (clientes, contratantes, usuários). Para atingir esta antecipação, afirma-se que é necessário alterar as estruturas organizacionais, cultura das empresas e profissionais envolvidos e pela utilização de novas tecnologias de informática e telecomunicações.

Como é possível observar, diferentes autores pregam que é necessário a utilização de tecnologias da informação para a melhoria dos processos e redução da fragmentação da informação dentro dos ciclos de vida da AEC.

O sistema BIM, segundo Eastman (2011), atua como uma tecnologia promissora que pode auxiliar na resolução desses problemas de comunicação e transferência de informação entre as fases do ciclo de vida de uma construção. A literatura aponta trabalhos com a perspectiva de avaliação da interoperabilidade sob a ótica da informação, principalmente da perda dela na troca de arquivos entre softwares BIM, como é o caso do artigo de Muller et al. (2017), onde é avaliado a interoperabilidade da troca de informação entre softwares BIM utilizando o IFC para uma estrutura de concreto armado. Mas poucos são os trabalhos que dão uma visão de avaliação de interoperabilidade sobre os processos - que muito impactam sobre o fluxo informacional e desempenho de uma obra. Nesse sentido Alemany et al. (2010), afirma que existem diferentes ferramentas e plataformas de tecnologia de informação e comunicação que foram propostas para a avaliação da interoperabilidade. Porém, não foram encontradas propostas de framework que tenham como foco a perspectiva de processo ligada com as barreiras de interoperabilidade.

Dado apresentação do BIM como um sistema que pode melhorar a interoperabilidade dentro da AEC e a falta de trabalhos que tratam a interoperabilidade sob a perspectiva de processos, a questão da presente pesquisa caracteriza-se como: A adoção da tecnologia BIM melhora a interoperabilidade entre as fases do ciclo de vida de uma estrutura de concreto armado, sob a perspectiva de seus processos em relação ao processo tradicional?

1.2 OBJETIVOS DE PESQUISA

Avaliar se a utilização do sistema BIM pode melhorar a interoperabilidade, sob a ótica dos processos, do ciclo de vida de uma estrutura de concreto armado em relação aos processos avaliados sem adoção desta tecnologia.

1.2.1 Objetivos Específicos

- i) Encontrar, através da revisão das normas e da literatura, requisitos que possam ser utilizados para avaliar a melhoria da interoperabilidade do ciclo de vida de uma estrutura de concreto armado, sob a ótica dos seus processos.
- ii) Modelar os processos AS-IS das fases de projeto, construção, manutenção e demolição.
- iii) Modelar os processos TO-BE das fases de projeto, construção, manutenção e demolição. Para criar um modelo referencial para a avaliação.
- iv) Criar critérios, com base nos requisitos encontrados, para avaliar quantitativamente a dimensão interoperabilidade de processos nos modelos AS-IS e TO-BE.

1.3 DELIMITAÇÃO DO TRABALHO

Os processos modelados são de uma estrutura de concreto armado com algumas das delimitações da NBR 6119 (ABNT, 2014), tais como:

- Estruturas de concretos normais, identificados por massa específica maior que 2000 kg/m^3 , não excedendo 2800 kg/m^3 , do grupo de I de resistência (C20 a C50) e do grupo II de resistência (C55 a C90).
- Pré-moldados, pontes, viadutos, obras hidráulicas, arcos, silos, chaminés, torres, estruturas off-shore, ou estruturas que utilizam técnicas construtivas não convencionais, como formas deslizantes, balanços sucessivos, lançamentos progressivos, concreto projetado e concreto protendido.

Apesar da norma ter condições para atender as estruturas citadas acima, estas não são abordados nos processos deste estudo. Será retratado uma estrutura de concreto armado moldado *in loco* para uma obra residencial, sendo excluído, desta forma, estruturas industriais, comerciais e edifícios garagem.

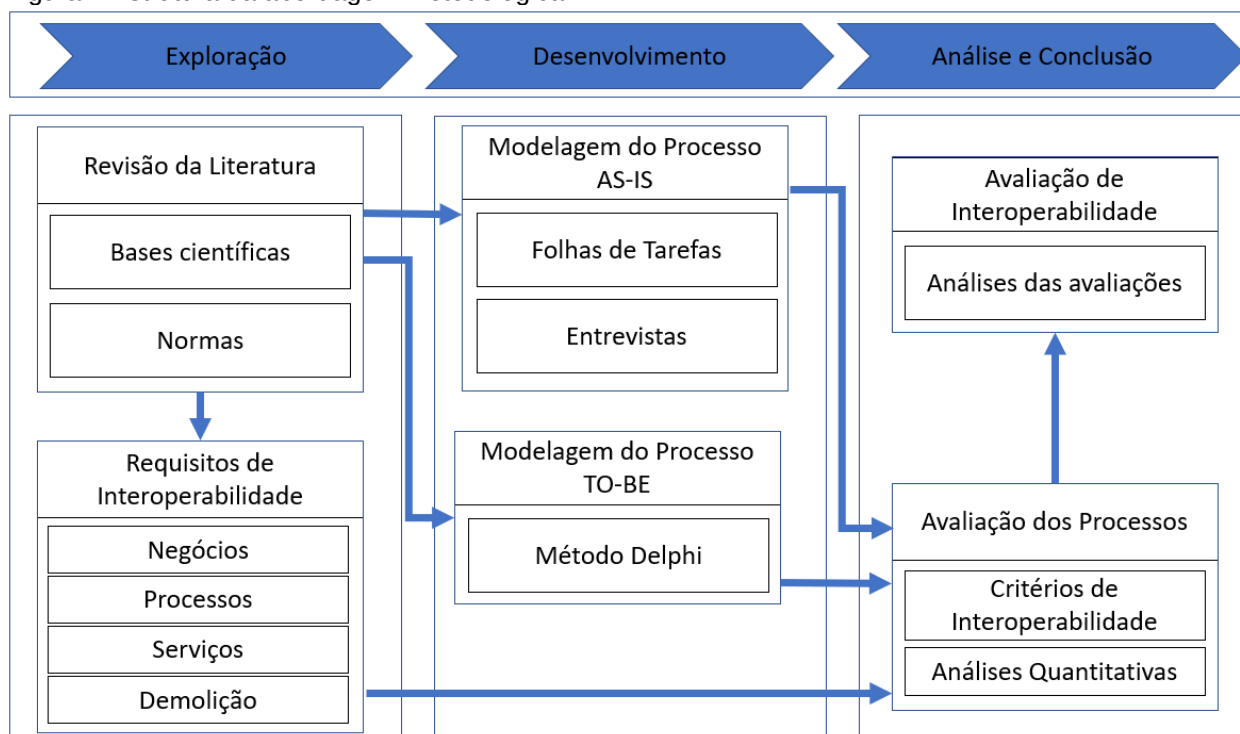
Para este estudo foram utilizadas normas brasileiras, havendo uma ressalva para a norma de demolição que, até o momento da apresentação deste, encontra-se cancelada. Por não haver norma substitutiva ou equivalente, a mesma será utilizada neste trabalho e, caso exista o lançamento de uma nova norma, poderá ser facilmente adaptado para a metodologia deste trabalho. Os processos modelados por esse estudo são os relativos ao projeto, construção, manutenção e demolição. Nesta

dissertação, o processo de operação e manutenção são retratados dentro da mesma etapa, sendo essa relação abordada no tópico 3.1.3. Todos os processos foram modelados através da metodologia BPMN, com base na plataforma Bizagi Modeler.

1.4 ABORDAGEM METODOLÓGICA

A Figura 1 representa o processo metodológico abordado por essa dissertação, utilizado para avaliar a interoperabilidade, sob a ótica dos processos, servindo um guia do que será apresentado neste estudo.

Figura 1 Estrutura da abordagem metodológica.



Fonte: O Autor (2019).

A estrutura da abordagem metodológica desta dissertação é dividida em três fases principais, sendo esse desenho metodológico inspirado no Design Science Research (TAKEDA,1990):

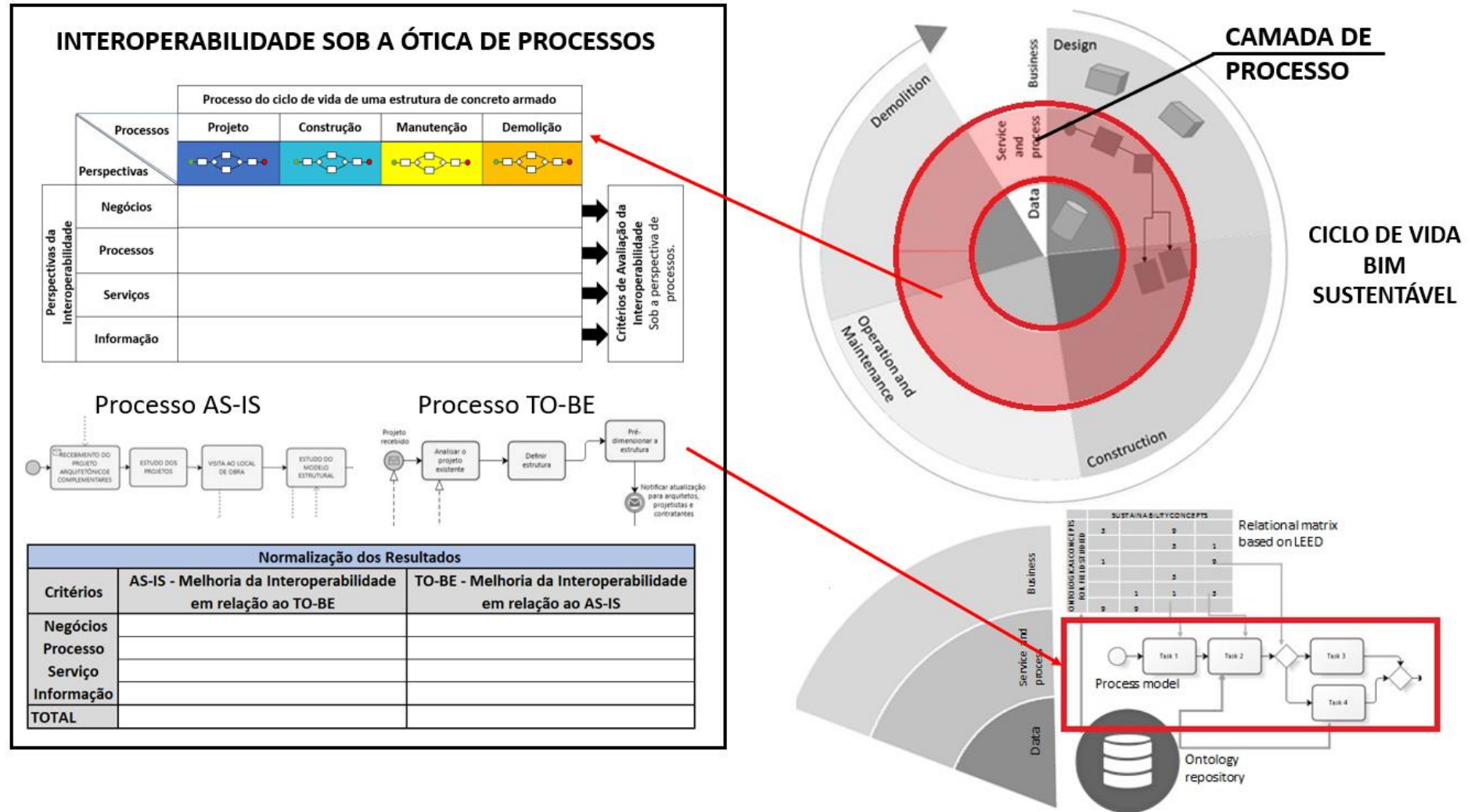
1. **Exploração:** Nessa fase será feita uma revisão do tema de interoperabilidade e integração na construção civil, para situar a problemática trabalhada nesse estudo. Nesta etapa também serão definidos requisitos de interoperabilidade que serão apresentadas no capítulo 3.6, 3.7, 3.8 e 3.9.

2. Desenvolvimento: A parte de desenvolvimento é composta pela modelagem dos processos AS-IS e TO-BE, sendo estes mapeados através de folhas de tarefa e do método Delphi respectivamente.
3. Análise e Conclusão: Serão estabelecidos critérios quantitativos, baseados nos requisitos de interoperabilidade para cada uma das perspectivas, e então com base nesses critérios serão avaliados os dois processos do ciclo de vida AS-IS e TO-BE. Sendo o objetivo ver qual o ganho de interoperabilidade, sob ótica dos processos, do processo TO-BE em relação ao AS-IS.

1.5 ESCOPO DE PESQUISA

A Figura 2 mostra, em seu lado direito, o escopo mais amplo da pesquisa conduzida no PPGEPS, caracterizando o tema da tese de doutorado de Marina Figueiredo Muller, intitulada “*Interoperability for sustainability in the construction industry – a BIM based framework*”. Esta tese busca estruturar a interoperabilidade BIM baseada em dados ontológicos e sua relação com os processos e influências das diretrizes de sustentabilidade.

Figura 2 Escopo Pesquisa BIM no PPGEPS - PUCPR.



Fonte: O Autor (2019).

Conforme mostrado na Figura 2, a presente dissertação está inserida na camada de processos do ciclo de vida (mostrado no disco), porém sem o viés de sustentabilidade presente no escopo da tese. Este trabalho terá como tratativa a interoperabilidade sob a ótica de processos e, para isso foram modelados todos os processos do ciclo de vida de uma estrutura de concreto armado que serão utilizados pela tese apresentada.

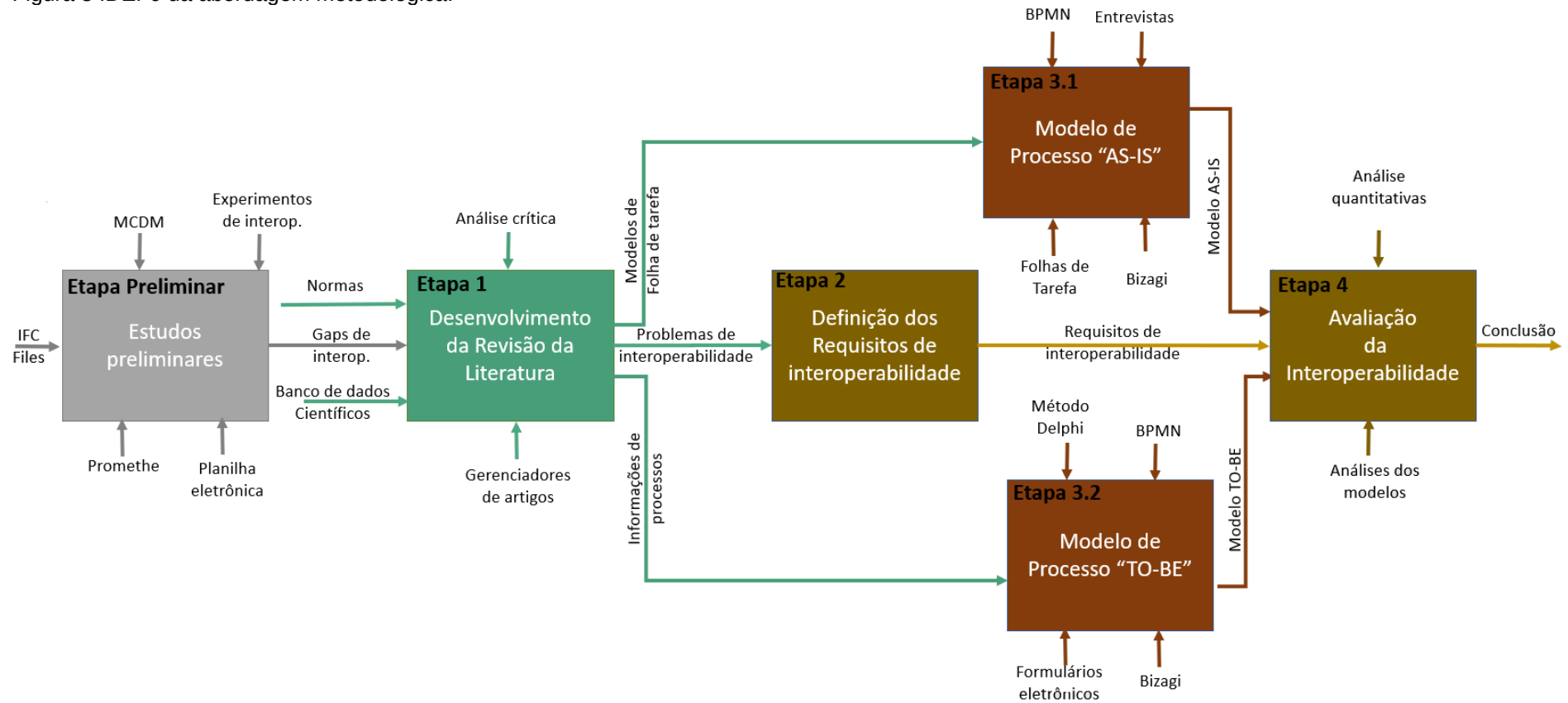
1.6 ESTRUTURA DO DOCUMENTO

Esse documento é estruturado em 7 capítulos. O primeiro capítulo apresenta a introdução do tópico e os objetivos da pesquisa. O segundo e o terceiro capítulo apresentam a metodologia de desenvolvimento e revisão da literatura respectivamente, contemplando também ao desenvolvimento metodológico que conduz a identificação dos requisitos de interoperabilidade sob a ótica de processos. O quarto capítulo apresenta os componentes instrumentais para a realização da modelagem dos processos. O quinto capítulo apresenta o desenvolvimento dos modelos de processo AS-IS e TO-BE. O sexto capítulo apresenta a abordagem de avaliação da interoperabilidade baseada nos requisitos encontrados. E por fim, o sétimo capítulo apresenta a conclusão da dissertação.

2 METODOLOGIA DE DESENVOLVIMENTO

A abordagem metodológica é desenvolvida em cinco partes, que estão estruturadas em um diagrama IDEF0. O IDEF0 é uma ferramenta de modelagem funcional, sendo um subconjunto da Técnica de Análise e Projeto Estruturados (*Structured Analysis and Design Technique* - SADT). As setas da esquerda para a direita representam as entradas de informação, as setas superiores são os controles (planos, especificações, métodos e regras), as setas inferiores são os mecanismos (pessoas, softwares e ferramentas) e as setas do lado direito de cada quadro são as saídas de cada etapa, conforme apresentando na Figura 3, cada uma das etapas apresentada será detalhada nos tópicos a seguir.

Figura 3 IDEF0 da abordagem metodológica.



Fonte: O Autor (2019).

2.1 ETAPA PRELIMINAR – ESTUDO PRELIMINARES E JUSTIFICATIVA DO ESTUDO

A primeira parte da metodologia consiste nos estudos preliminares realizados. O resultado desses estudos é a publicação do artigo *“Data Interoperability Assessment Through IFC for BIM in Structural Design – A Five-Year Gap Analysis”*, incluso no apêndice K deste trabalho.

O artigo versa sobre um experimento baseados na troca de informação através do IFC (*Industry Foundation Classes*). O IFC é um formato aberto para o BIM desenvolvido pela buildingSMART, que tem como objetivo tornar os softwares BIM interoperáveis independente de seus fabricantes. O resultado desse experimento foi mapear o quanto houve de evolução na qualidade da transmissão de informação em um período de 5 anos, mostrando uma melhora relativa, porém existindo ainda lacunas a serem tratadas.

Outro artigo publicado, realizado nesta etapa preliminar, consiste no artigo *“Interoperability in the green BIM lifecycle - a systematic literature review based on a multicriteria decision making/analysis method”*, incluso no apêndice L deste trabalho, onde foi realizada uma revisão sistemática da literatura sobre a interoperabilidade dentro do ciclo de vida BIM sustentável, utilizando análises multicritério. Com base nessa revisão sistemática, é possível notar que BIM é dito como a ferramenta de interoperabilidade dentro da AEC. As pesquisas realizadas mostram que, majoritariamente ao se pesquisar interoperabilidade dentro da construção civil, os artigos são remetidos a funções do BIM.

Além destes artigos, no escopo de avaliação preliminar do contexto propositivo, existem ainda um artigo submetido e em revisão. O artigo *“Multicriteria Decision Making Model for the Choice of Interoperable BIM Software and Environmental Analysis”* teve como análise softwares para um design sustentável. Os modelos foram transferidos entre sistemas através do IFC e também verificados se houveram não conformidades. Os resultados foram analisados pelo método de análise multicritério PROMETHEE (*Preference Ranking Organization METHod for Enrichment of Evaluations*) (VP SOLUTIONS, 2018). Os resultados mostraram que, muitas vezes os sistemas podem gerar modelos de IFC com eficiência, mas nem sempre podem lê-los. Neste estudo é possível notar que nem sempre a melhor combinação de software

utilizada é a da mesma empresa fabricante, o que é um fato curioso. Importante notar que os processos de troca de informação entre softwares são expressivamente afetados, mostrando que ainda há um longo percurso para que a interoperabilidade atinja uma maior maturidade dentro do BIM.

Com o resultado desses estudos, foi observado a magnitude da temática interoperabilidade dentro da construção civil sob o domínio AEC dentro de estruturas de concreto armado. Entretanto, a maioria dos estudos apresentados foram dentro do escopo de transmissão de dados entre os softwares BIM. Baseado em oportunidade científica e nas lacunas identificadas, decidiu-se com essa dissertação explorar a dimensão de processos e interoperabilidade dentro do ciclo de vida do concreto armado, pela intrínseca importância dos mesmos no fluxo e coordenação da informação onipresente em todas as fases do ciclo de vida.

2.2 PARTE 1 – DESENVOLVIMENTO DA REVISÃO DA LITERATURA

Já com base nas percepções obtidas com os estudos preliminares na etapa anterior, a parte 1 dedicou-se a revisar a literatura pertinente através do portal de pesquisa *Science Direct*, onde foram encontrados as definições e o estado da arte da área de interoperabilidade, BIM e processos.

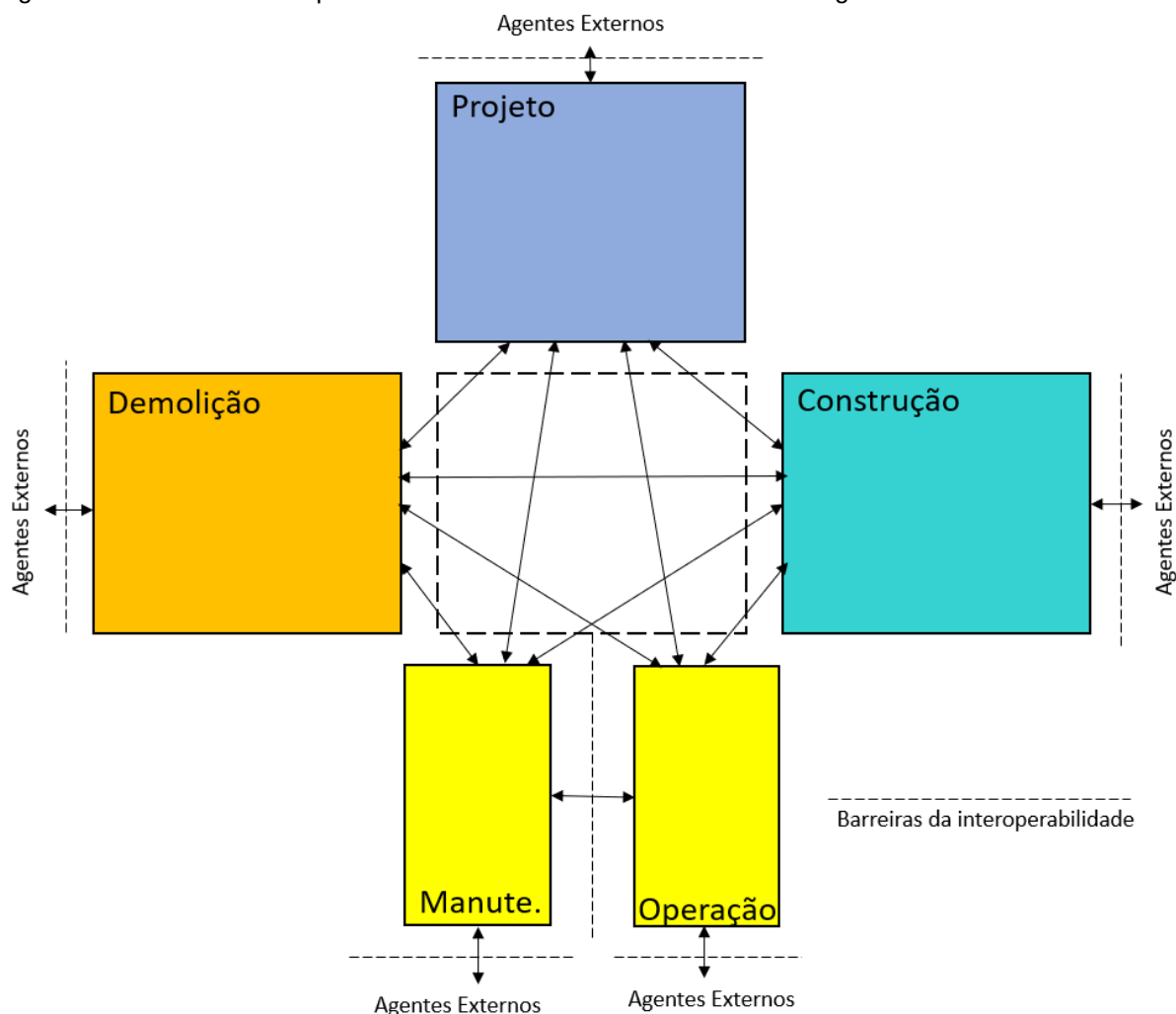
Também nesse ponto é realizada uma extensa revisão das normas, apresentadas no capítulo 3.6:

- ABNT NBR 6118:2014: Projeto de estruturas de concreto – Procedimento
- ABNT NBR 14931:2004: Execução de estruturas de concreto – Procedimento
- ABNT NBR 5674:2012: Manutenção de edificações – Requisitos para o sistema de gestão de manutenção
- ABNT NBR 5682:1977: Contratação, execução e supervisão de demolições – Procedimento.

Essas revisões da literatura e normas tem como objetivo identificar quais elementos precisam existir para garantir a interoperabilidade do ciclo de vida de uma estrutura de concreto armado. Os elementos identificados tornam-se requisitos de interoperabilidade, base para a avaliação conforme será apresentado no tópico seguinte.

A Figura 4 ilustra as relações possíveis entre as diversas fases do ciclo e seus agentes externos. A fase de projetos, por exemplo, pode precisar consumir informações de todas as outras fases do ciclo, além de agentes externos a esse ciclo. Na imagem é representada dois tipos de barreiras de interoperabilidade no ciclo de vida: (i) entre as fases do ciclo de vida, mostrando que podem existir problemas de comunicação entre cada uma das fases e (ii) entre os agentes que estão presentes externamente em cada fase.

Figura 4 Barreiras de interoperabilidade entre as fases do ciclo e seus agentes externos.



Fonte: O Autor (2019).

Outro ponto pesquisado na revisão da literatura foi o componente instrumental folha de tarefa, afim de encontrar modelos que possam ser utilizados, para a modelagem dos processos AS-IS, etapa 3.1 (conforme figura 3). Para a modelagem

dos processos TO-BE, etapa 3.2, é pesquisado na literatura modelos de processos BIM afim de servir como processos preliminares para a aplicação do método Delphi.

2.3 PARTE 2 – DEFINIÇÃO DOS REQUISITOS DE INTEROPERABILIDADE

A definição dos requisitos de interoperabilidade é baseada nos elementos necessários para que esta exista, sendo esses encontrados na revisão da literatura e nas normas. Esses elementos são categorizados conforme o framework de Chen (2006) dividindo os requisitos de interoperabilidade identificados em 4 tipos de perspectivas: Negócio, Processos, Serviços e Informação. Com isso, é definido um requisito para cada uma das perspectivas propostas. Essa estrutura de requisitos de interoperabilidade em relação a estas perspectivas, para uma avaliação da interoperabilidade, apoiou-se no framework de Alemany et al. (2010), onde é apresentado alguns requisitos como:

Negócio: Alinhamento de objetivos; Definição de responsabilidade e autoridade; Compatibilidade da estrutura organizacional.

Processos: Nível de detalhamento da representação dos negócios; Definição e especificação das atividades entre as organizações; Definição da interdependência da informação.

Serviço: Comunicação e formato de mensagens; Vinculação de aplicativos e serviços às plataformas de informação e comunicação.

Informação: Integração da informação; Semântica das trocas de informação, Acessibilidade das informações; Atualização das informações.

Apesar do framework de Alemany et al. (2010) já propor requisitos de interoperabilidade, estes estão muito voltados a sistemas de informação e arquitetura organizacional, sendo utilizados para escolha de fornecedores para a indústria. Então não foi possível aplicar na íntegra esses requisitos já propostos, mas sim utilizá-los como uma referência para a criação de novos requisitos que possam ser identificados dentro dos processos mapeados. Para esta dissertação são atribuídos requisitos mais específicos que atendam melhor a demanda da área estudada, a AEC. Os requisitos de interoperabilidade criados para avaliar processos são:

Requisito de Negócio: Compatibilidade com as tarefas propostas pelas normas para os agentes internos e externos. No contexto de negócio como não está sendo tratada a estrutura organizacional, foi atribuído então, a compatibilidade com as

normas existente para cada fase do ciclo de vida, sendo essas: NBR 6118:2014 (projeto), NBR 14931:2004 (construção), NBR 5674:2012 (manutenção), NBR 5682:1977 (demolição). O motivo da escolha deste requisito se dá, pois as normas técnicas devem ser aplicadas nos processos independente do porte ou método de trabalho da empresa ou especialista analisado.

Requisito de Processo: Nível de detalhamento dos processos de negócio do ciclo de vida. Para este, utilizou-se como base a proposta de Alemany et al. (2010) e de outros autores (que serão explorados no tópico 3.7), sendo adaptado para apenas um requisito, afim de atender melhor a proposta dessa dissertação.

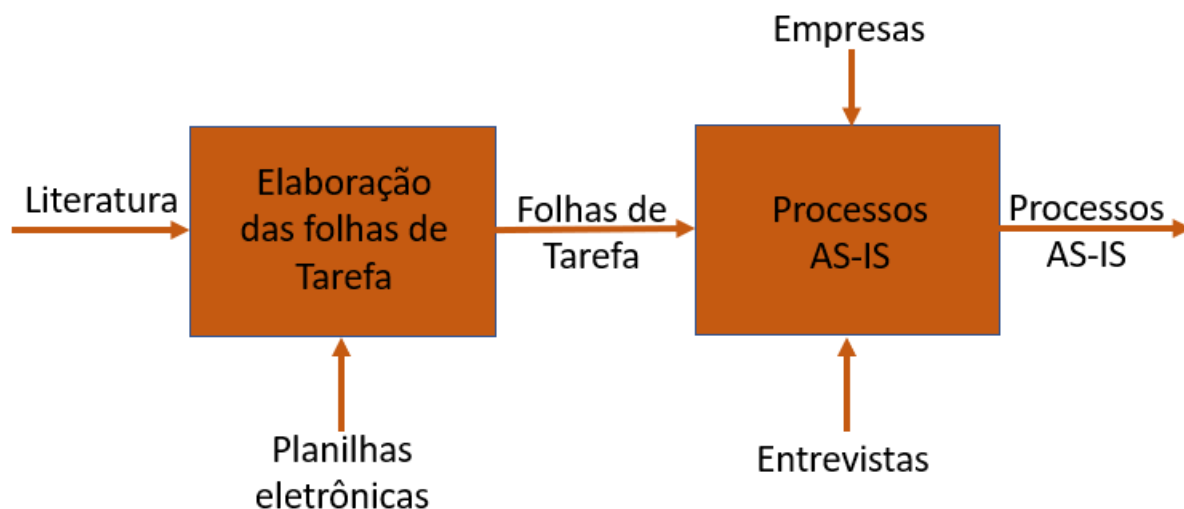
Requisito de Serviço: Comunicação entre agentes internos e externos ao ciclo de vida para aquisição de informação. Para a definição desse requisito foi utilizado a referência o artigo de Chituc et al. (2007) apresentado no tópico 3.8.

Requisito de Informação: Fragmentação da informação ao longo do ciclo de vida. Esse requisito foi baseado nos autores Verdantat (2006), Howard (1989) e Eastman (2001).

2.4 PARTE 3.1 – MODELO DE PROCESSO AS-IS

A criação do modelo AS-IS é realizada por duas fases, conforme estruturado no diagrama IDEF0 mostrado na figura 5. A primeira etapa consiste na elaboração das folhas de tarefa. Para tal, são consumidas as definições e folhas de tarefas encontradas na revisão da literatura nas bases científicas da parte 1. São criadas duas folhas de tarefas: A primeira, chamada de folha de caracterização da empresa, aborda quais as tarefas que existem na empresa entrevistada; A segunda folha de tarefa tem a função de organizar as tarefas mencionadas, ou seja, perguntar qual a sequência dessas tarefas, quais recursos são necessários e entre outros.

Figura 5 IDEF0 da metodologia dos processos AS-IS



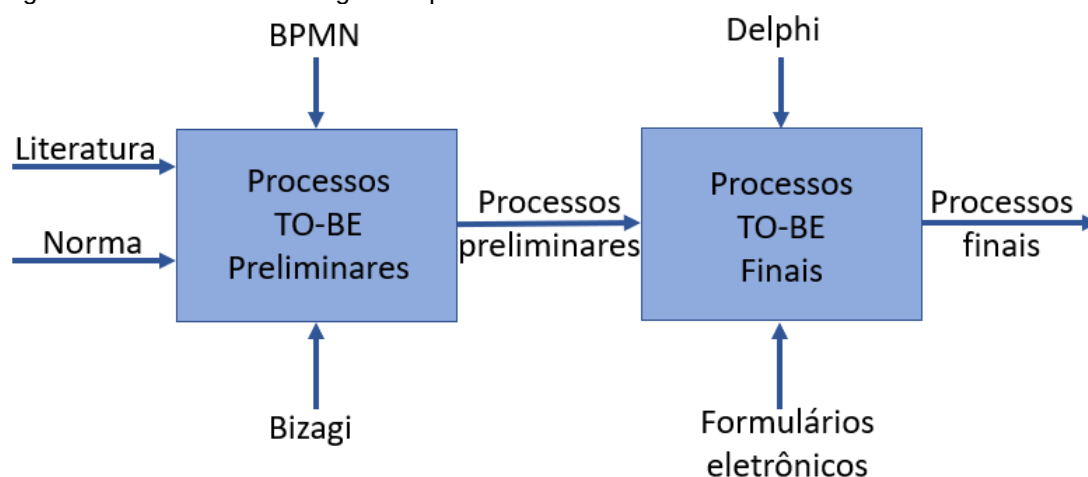
Fonte: O Autor (2019).

Na segunda etapa, as folhas de tarefas são consumidas através de entrevistas com empresas atuantes em cada uma das fases do ciclo de vida de uma estrutura de concreto armado, mas que não utilizam o BIM em seus processos, ou seja que trabalham de forma tradicional. As empresas entrevistadas, presencialmente, descrevem as tarefas de suas atividades de negócio através da folha de caracterização da empresa e, após a enumeração das tarefas que são realizadas pela empresa, é elaborada uma FT para cada uma das tarefas enumeradas, sendo perguntado quem é o responsável pela tarefa, qual informação é consumida e qual é gerada, para que seja mapeado o processo. O resultado esperado é que o processo modelado fique o mais próximo possível do que é praticado nas empresas que não utilizam BIM. Essas folhas de tarefa serão apresentadas de forma completa no tópico 4.2.

2.5 PARTE 3.2 – MODELO DE PROCESSO TO-BE

Para a criação do modelo TO-BE são realizadas duas etapas, conforme estruturado no diagrama IDEF0 mostrado na Figura 6. A primeira etapa da elaboração deste modelo é a criação de modelos de processo baseados na revisão da literatura para as fases de projeto, construção, manutenção e demolição do ciclo de vida de uma estrutura de concreto armado. Ou seja, através das etapas dos processos descritos na literatura são montados modelos BPMN de cada fase do ciclo de vida BIM.

Figura 6 IDEF0 da metodologia dos processos TO-BE



Fonte: O Autor (2019).

Após essa etapa são enviados questionários para especialistas BIM e profissionais da área, no intuito de validar os modelos de processos propostos para o uso do BIM em todas as fases de vida de estruturas de concreto armado, atualizando os processos preliminares através de interações entre os especialistas utilizando a metodologia Delphi.

2.6 PARTE 4 – AVALIAÇÃO DA INTEROPERABILIDADE

A metodologia utilizada para a avaliação da interoperabilidade é baseada na criação de critérios, com base nos requisitos identificados nos tópicos 3.6, 3.7, 3.8 e 3.9. Esses critérios permitem definir de forma quantitativa a interoperabilidade dos processos AS-IS e TO-BE. Com o término dessas análises, os resultados são normalizados para criar um valor final de quanto é o ganho da interoperabilidade na

adoção BIM. A conclusão dessa avaliação indicará qual dos dois processos (AS-IS ou TO-BE) é o mais interoperável, quantificando esta diferença. Os critérios de análise, portanto podem inferir que a adoção de BIM não necessariamente levou a uma melhor avaliação de interoperabilidade, com base no diagnóstico apresentado.

3 REVISÃO DA LITERATURA

3.1 CICLO DE VIDA EM CONSTRUÇÃO CIVIL

A grande particularidade da construção civil é o ciclo de vida dos produtos que nela são gerados. Uma construção pode durar por tempo indeterminado, desde que possua uma manutenção adequada. Fabricio (2002), descreve os ciclos de vida dos empreendimentos como bastante longos, da ordem de décadas e podem compreender diversas fases durante esse ciclo de vida, como montagem das operações, descarte, reabilitação, projetos, construção, uso e manutenção. Nesse sentido, o autor ainda diz que essas fases são realizadas por agentes independentes, com diferentes papéis e objetivos junto ao empreendimento.

Nesse estudo será utilizado o ciclo de vida de uma edificação segundo Wong (2015), sendo este composto das seguintes fases: i) Projeto, ii) Construção, iii) Manutenção, iv) Operação e v) Demolição. Tais fases são descritas a seguir.

3.1.1 Projeto

A primeira etapa do ciclo de vida de um empreendimento considerada para esse estudo é a fase de projetos, compreendendo nesta etapa, desde os estudos mais preliminares até a entrega efetiva dos elementos previstos no escopo.

Para Melhado (1994), projeto se caracteriza como uma tarefa ou serviço no qual faz parte do processo de construção, sendo responsável pelo desenvolvimento, registro, organização e transmissão das características físicas e tecnológicas de um empreendimento, que serão consideradas na fase de execução. Nesse mesmo sentido a NBR 5674 (ABNT, 2012) define o projeto como a descrição gráfica e escrita de todas as propriedades pertinentes a um serviço ou obra de engenharia ou arquitetura, sobre a qual define seus atributos técnicos, legais e financeiros.

A fase de projeto é o momento onde é necessário avaliar não só as questões construtivas, mas segundo a NBR 6118 (ABNT, 2014), deve considerar as condições arquitetônicas, funcionais, estruturais e de integração com os demais projetos como: elétrico, hidráulico, ar-condicionado e outros, sendo essas condições ditas pelos seus respectivos responsáveis técnicos.

Para Oliveira (2005), a fase de projetos é a etapa onde existe maior facilidade para a melhoria do desempenho da edificação, oportunizando a redução de custos. É necessária, portanto uma grande integração de profissionais na fase de projetos, afim de melhorar o desempenho da construção nas suas determinadas áreas. Nesse sentido, Garvin (1994) comenta que um bom projeto ajuda a minimizar erros e evitar dificuldades, aumentando a qualidade de todo o ciclo de vida.

3.1.2 Construção

Uma construção de qualidade pode ser resultado de um projeto bem realizado e rico em informações que auxilie a execução. Nesse sentido, a falta de integração adequada entre a fase de construção e projeto pode ocasionar problemas, como o apresentado no estudo de caso do trabalho de conclusão de curso de Esmanioto e Huber (2014). Este revela que a falta de compatibilização de elementos estruturais com os demais projetos complementares resultou em um aumento de custo superior a 7% do valor global da obra.

A execução da estrutura de concreto de um edifício é uma das etapas de maior relevância no processo de construção, no qual encontra-se o caminho crítico de todas as atividades subsequentes de uma obra. A execução desta estrutura, de maneira errada ou inadequada, tem interferência não somente no seu cronograma, mas também em seu desempenho, pois facilita o surgimento de possíveis patologias (FREIRE, 2001). Ou seja, todo o ciclo de vida é afetado quando uma obra é mal executada, por isso reitera-se a necessidade de aproximação de todas as etapas do ciclo de vida em prol da qualidade da estrutura a ser executada.

3.1.3 Operação e Manutenção

De acordo com os autores Shen et al. (2012), do ponto de vista da operação das instalações, os usuários e técnicos estão preocupados com a condição de construção (fornecimento de eletricidade, gás, água quente e fria), condição de ativos físicos (máquinas de laboratório e equipamentos especiais) e localização e disponibilidade de equipamentos especiais e ferramentas (por exemplo, escadas, carrinhos).

A manutenção das instalações é um problema de múltiplos domínios que engloba contabilidade financeira, manutenção predial, gerenciamento de instalações, recursos humanos, gerenciamento de ativos e conformidade de código, afetando diferentes partes interessadas de diferentes maneiras (CURRY et al., 2013). Além disso, normalmente a equipe que projeta e constrói o edifício final não é a mesma que realiza manutenção no edifício.

As fases de operação e manutenção estão ligadas durante toda a vida útil, sendo essa relação explicada pela norma de manutenção NBR 5674 (ABNT, 2012), pela Figura 7, onde é mostrada que existe a necessidade da fase de operação em arquivar os manuais, projetos, memoriais, além de registros.

Figura 7 Fluxograma de registros de manutenção.



Fonte: NBR 5674 (ABNT, 2012).

Muitas vezes, várias equipes ou empresas vão fazer a manutenção da estrutura durante a vida útil, por isso existe a necessidade de um armazenamento adequado dos registros de manutenção.

As manutenções devem ser feitas com base em um programa de manutenção definido através dos manuais de operação e manutenção, porém deve sempre considerar as solicitações e reclamações dos operadores da estrutura. Então, o início de uma manutenção pode ser uma tarefa dos operadores, que ao perceberem que a estrutura utilizada está com problemas, podem solicitar uma manutenção.

Nesta dissertação será considerada a manutenção e a operação na mesma fase do ciclo de vida, uma vez que todos os processos de manutenção são realizados dentro da fase de operação da estrutura. Justifica-se também esta visão integrada devido à grande relação processual, de troca de informações ao longo de toda a vida útil da estrutura.

3.1.4 Demolição

Demolição é o ato de demolir ou desmantelar, parcialmente ou totalmente uma estrutura que tem como função o suporte de cargas ou esteja relacionada a

integridade física da estrutura (Demolition Work Code of Practice, 2013). Para a British Standard (2011), a palavra demolição pode ser usada também para a remoção de um elemento parcial da estrutura ou a retirada de uma parte dela.

A fase de demolição do ciclo de vida de um edifício deve abordar algumas questões que irão garantir um planejamento apropriado para a execução da demolição. A British Standard (2011), aponta que antes da mobilização de equipes para demolição da estrutura é necessário o planejamento e análises dos projetos existentes, do impacto ao meio ambiente e do impacto na vizinhança.

Nesse sentido, para essa última etapa do ciclo de vida é importante ter meios de obter os projetos, principalmente os estruturais, para que seja possível executar uma demolição com segurança. Nota-se que apesar da distância temporal entre o projeto e a demolição, é necessário que as informações sejam mantidas acessíveis em todos os momentos do ciclo de vida.

3.2 BIM

O conceito de Building Information Modeling foi inicialmente proposto em 1975, com o objetivo de visualizar e quantificar as análises dos projetos e melhorar a eficiência dos edifícios (WANG; ZHAI, 2016). Por um lado, o BIM é considerado como uma mera aplicação de software, enquanto por outro lado, consiste em um processo para projetar e gerenciar informações de construção (LIU et al., 2016). Além disso, o BIM pode ser definido como um grupo de políticas interativas, processos e tecnologias empregadas para fornecer uma metodologia de gerenciamento digital e as informações do projeto (CHO et al., 2014).

Um dos problemas que a tecnologia BIM pode resolver são os relativos à interoperabilidade que existem entre as diferentes disciplinas de projeto, uma vez que todos eles podem ser representados em um único modelo. Além disso, o mesmo modelo pode ser aberto em paralelo, facilitando a identificação de conflitos e, assim resultando no aumento da produtividade do projeto (DONG et al., 2014). O modelo pode ser trabalhado com vistas 3D (tridimensional) ou 2D (bidimensional), já que a informação é parametrizada, ou seja uma mudança na parte do modelo implica na atualização de todas as outras perspectivas. Além do modelo de geometria paramétrica, outros aspectos como custos, aspectos quantitativos e análises são

modificados instantaneamente, sem a necessidade de revisar todo o projeto para atualizá-lo manualmente (NGUYEN et al., 2010).

Diante dos elementos mencionados, surge uma mudança de paradigma nas atualizações de informações e relações entre as diversas áreas da AEC, resultando em redução de preço e tempo, bem como aumento de qualidade em todo o ciclo de vida do edifício (CHO et al., 2014)

Portanto, o BIM pode ser considerado um grande avanço, como o CAD era na época, dadas suas aplicações diversas e integradas. Há, no entanto um longo caminho à frente (LIU et al., 2016), uma vez que mesmo entre os profissionais que já empregam o BIM como sua principal ferramenta, ainda são observadas limitações, por exemplo, falta de interoperabilidade e integridade na transmissão de dados entre os softwares existentes no mercado (LEE et al., 2015).

Segundo a National Building Information Modeling Standard (NBIMS, 2007), uma das formas de entender as vantagens da tecnologia BIM, do ponto de vista dos processos, é o seu caráter colaborativo. Ou seja, o BIM é uma plataforma onde é possível fornecer e obter informações de todo o ciclo de vida sendo esse um dos aspectos que será avaliado por essa dissertação, se de fato existe uma melhoria na obtenção de informação do ciclo de vida.

3.2.1 Processo em BIM

Como abordado nos tópicos anteriores, problemas inerentes ao processo como troca de informação, comunicação e participação entre as fases e o ciclo de vida é um tema recorrente dentro da AEC. A solução para esse problema, segundo autores como Eastman et al. (2011), é a utilização da tecnologia BIM com alguns dos benefícios em relação aos processos, tais como:

- Aumento da colaboração a partir do uso de técnicas de projeto integrado;
- Colaboração antecipada das múltiplas disciplinas do projeto;
- Descoberta de erros e omissões de projeto antes da construção;
- Melhor operação e manutenção das edificações.

Apesar desta tecnologia oferecer muitas vantagens, é necessário também salientar os pré-requisitos para o bom funcionamento do processo. A disponibilidade de informações é algo que impacta na tomada de decisão de todo o ciclo de vida de

uma construção. É a partir da quantidade de dados que o projeto poderá ser revisado ou continuado para a próxima etapa a ser executada (ABDELHADY, 2013).

Abdelhady (2013) propõe que, para a plataforma alcançar o melhor desempenho é necessário que exista troca de informações relevantes entre participantes, compartilhando o modelo e dados sincronizados durante a etapa do processo, ao invés de esperar o final de cada estágio.

Para esses processos ocorrerem de forma satisfatória, a buildingSMART, uma organização sem fins lucrativos, promove o uso de extensões abertas para o intercâmbio de informações entre softwares BIM, sendo para a transmissão de dados o formato utilizado é o IFC (*Industry foundation classes*). Outro componente mantido pela organização é o IFD (*International framework for dictionaries*), sendo um mecanismo utilizado para a criação de dicionários para o suporte da extensão IFC. E finalmente o IDM (*Information delivery manuals*), que segundo a buildingSMART, é uma metodologia utilizada para documentar processos existentes ou novos e descrever as informações associadas que devem ser trocadas entre as partes. Essa documentação pode, então ser utilizada para formar a base para um processo de desenvolvimento de software. Um dos principais objetivos do manual é garantir que dados relevantes sejam suportados e interpretados pelos softwares.

Logo, é possível observar um grande esforço de organizações e autores em promover o BIM como uma solução definitiva para os problemas da AEC, sendo o IDM uma metodologia importante para mapear os processos para posteriormente serem implementados em softwares. Neste sentido, a proposta do presente estudo é uma avaliação da interoperabilidade de cada uma das fases do ciclo de vida, com base na comparação do método tradicional de trabalho com o método utilizando BIM.

Caso não exista ganho de interoperabilidade na utilização do sistema BIM, uma das possíveis soluções é a utilização da metodologia IDM.

3.2.2 Etapa de Projetos em BIM

Na etapa de projeto na indústria da Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC), o envolvimento e a interdependência de vários integrantes que se empenham para a viabilização de melhores soluções para clientes e proprietários é algo intrínseco (HERTOGH; WESTERVELD, 2010). Todas as divisões participantes da fase de design de um empreendimento, que colaboram com um sistema de construção

baseada em projetos, são especializadas em planejar uma parte do projeto. Sendo assim, é normal que cada profissional envolvido tenha uma própria metodologia de trabalho desenvolvida, compromissos, interesses individuais, valores e culturas (HERTOGH; WESTERVELD, 2010).

Segundo Sears et al. (2015), as relações de dependência entre os participantes, sejam eles arquitetos, engenheiros, construtoras, fornecedores, financiadores e clientes é algo que tende a apresentar um nível de complexidade elevado. A complexidade dos projetos no setor da construção é um dos inúmeros aspectos que exige de projetistas e construtoras a adoção de melhores técnicas de gestão, como também o domínio completo do planejamento. As evoluções e tecnologias do mundo moderno viraram grandes ferramentas no monitoramento e controle de elementos fundamentais de negócios (PINTO, 2012).

O trabalho conjunto entre proprietários, empreiteiros e projetistas de diferentes disciplinas tem motivado o desenvolvimento de novas metodologias de construção e planejamento de projetos. As mudanças que surgem para aprimorar o sistema e amenizar fatores complicadores, influem na colaboração entre participantes do processo, na maneira de organização da documentação de arquivos e projetos desenvolvidos por diversos responsáveis ao longo do curso e tendem a dar uma maior abertura entre os profissionais envolvidos no ciclo de vida de um edifício (HERTOGH; WESTERVELD, 2010).

Com o aumento nos níveis de complexidade na área de criação de projetos, percebe-se uma grande inovação no âmbito tecnológico de informação e comunicação para a indústria civil (BRYDE et al., 2016). Segundo Succar (2009), nos últimos anos, a entrada da tecnologia BIM no mercado da construção civil marca uma ruptura no sistema tradicional da construção. Para a indústria e a academia, a plataforma começava a ser considerada como um novo paradigma, assim como foi com o Computer Aided Design (CAD).

Com a próspera aceitação da tecnologia de modelagem da informação para melhorar as técnicas de projeto, o mercado da construção civil deixa de ter apenas o interesse na adoção da ferramenta e passa a implementar o BIM como garantia de sucesso na concretização de projetos (WON; LEE, 2016). A tecnologia BIM beneficia o processo da construção em muitos aspectos. É por meio de sua adoção que se pode prevenir adversidades como fragmentação das fases do processo, identificação tardia

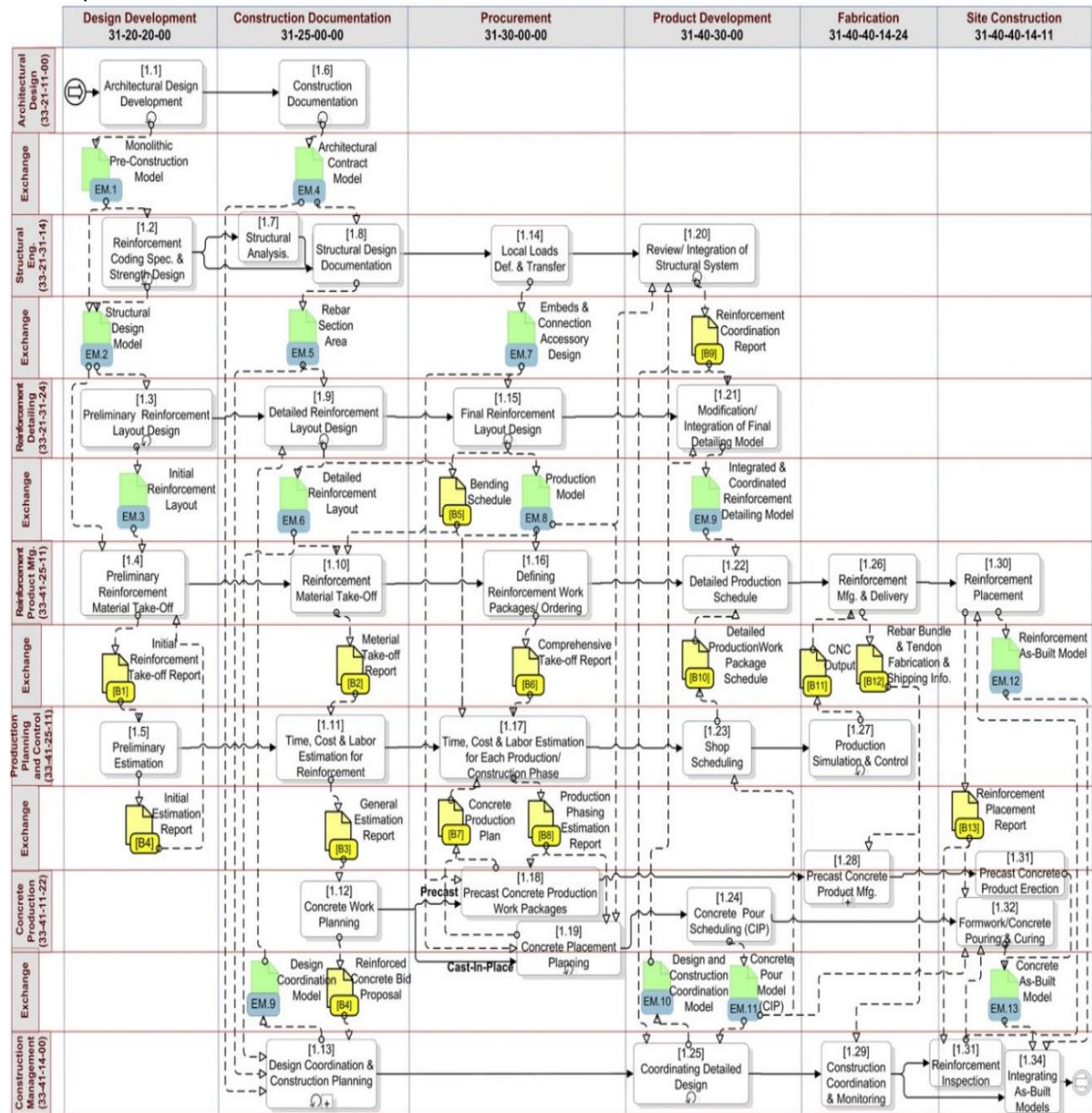
de incompatibilidades de projeto, retrabalho, custos elevados na produção e resultados finais abaixo da qualidade esperada (COELHO; NOVAES, 2008).

De acordo com Abdelhady (2013), uma vantagem ao se adotar BIM na fase de desenho esquemático do projeto é a visualização do modelo (2D e 3D), possibilitando a geração automática de plantas e cortes 2D, informações de caráter quantitativo e qualitativo e também a documentação e quantificação de objetos (por exemplo lista de materiais, especificações e estimativas). Outro benefício para a parte de estruturação do design é a estimativa de custos do empreendimento, que a partir do modelo tridimensional gerado, automatiza tabelas dispondo de informações de quantidade e custos.

Na fase de desenvolvimento do projeto, a implantação da tecnologia facilita a análise de projetos estruturais, elétricos e hidráulicos. O BIM também auxilia no estudo de alternativas que possam ser mais ágeis, mais sustentáveis e que tragam melhor custo benefício (ABDELHADY, 2013).

Aram et al. (2013) apresentam na Figura 8 um mapa de processo usando a linguagem BPMN, feito em colaboração com mais de vinte especialistas em várias fases industriais da cadeia logística do concreto armado, englobando fases da fabricação até o gerenciamento da construção. O processo modelado definiu algumas relações importantes da fase de projeto com a fase de construção, como a troca de informações paralelamente a execução do projeto. É possível ver na Figura 8 que as demais atividades subsequentes vão reutilizando as informações geradas pela fase de projeto, com isso é possível que existam tomadas de decisões por todas as disciplinas durante o projeto e fases de construção, mostrando que o BIM pode dar uma dinâmica diferente do intercâmbio de informações do que no processo tradicional.

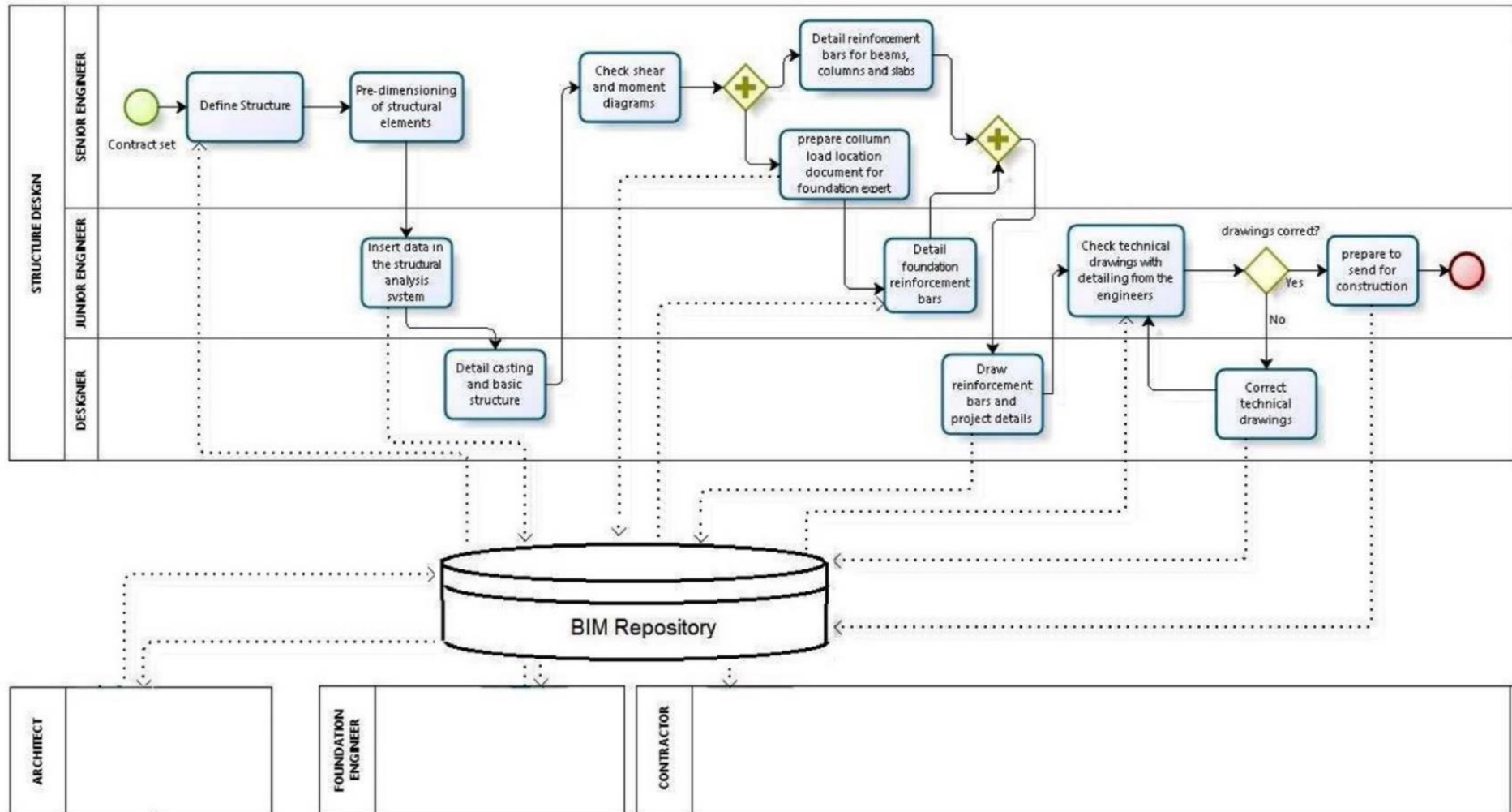
Figura 8 Estrutura relacionando fluxo de informações com fases de projeto, fabricação e construção de um empreendimento



Fonte: Aram et al. (2013).

Um dos modelos de processo que serão utilizados como base para os processos preliminares TO-BE, na parte de projetos, é de Muller et al. (2017) onde é sugerido um modelo de processo em BIM para estruturas de concreto armado conforme a Figura 9, onde está detalhado os fluxos de informação e as tarefas de uma empresa de projetos estruturais. Neste processo é importante observar que todas as informações são armazenadas em um artefato chamado repositório BIM, sendo este um agregador de informação. No mesmo sentido da Figura 8, é mostrado que é possível tomada de decisões ainda na execução do projeto. Isso é possível devido a capacidade do BIM na atualização e abertura de suas informações aos participantes das fases do ciclo de vida.

Figura 9 Modelo de processo em BIM para estruturas de concreto armado



Fonte: Muller et al. (2017).

3.2.3 Etapa de Construção em BIM

Pode-se notar no âmbito mundial que as técnicas usadas no serviço de obras carecem de um maior aprofundamento ao serem comparadas aos fundamentos aplicados na concepção e no projeto de estruturas. Como consequência, muitas vezes não correspondem à sofisticação e qualidade desejada (GEHBAUER et al., 2002).

Segundo Gehbauer et al. (2002) o processo de uma construção pode garantir um melhor aperfeiçoamento desde seu planejamento até a gerência, visto que para assegurar os padrões exigidos no momento de concepção de um projeto, é de extrema importância ter-se a mesma cautela inicial na hora de execução da obra.

Para garantir uma boa construção do empreendimento, o monitoramento do cronograma é algo que adquire uma posição de destaque. Na etapa de planejamento da obra, a junção de um banco de dados completo com um nível de detalhamento elevado possibilita a previsão de ocorrências que possam afetar o cronograma de maneira negativa, isto é, a garantia de um poder de resposta ágil, corrigindo, prevenindo e aliviando possíveis prejuízos de tempo de obra e custo. Esses fatores irão garantir o alto desempenho na hora de construir (ATKINSON, 1999).

A aplicação do BIM na fase de construção estimula um crescimento econômico e gera uma maior facilidade, permitindo maior controle de qualidade da produção como também o gerenciamento logístico da obra (VOLKOV et al., 2016).

Com a possibilidade do desenvolvimento de modelos digitalizados em 3D, o processo de programação do cronograma de obra foi complementado com a possibilidade de visualizar a evolução da construção do empreendimento. Desta forma, a ligação de informações temporais e características dos objetos com a geometria da maquete proporcionam uma análise visual e em fases do cronograma, ajudando a simular e experimentar opções, dando maior confiabilidade ao processo (KOO; FISCHER, 2000).

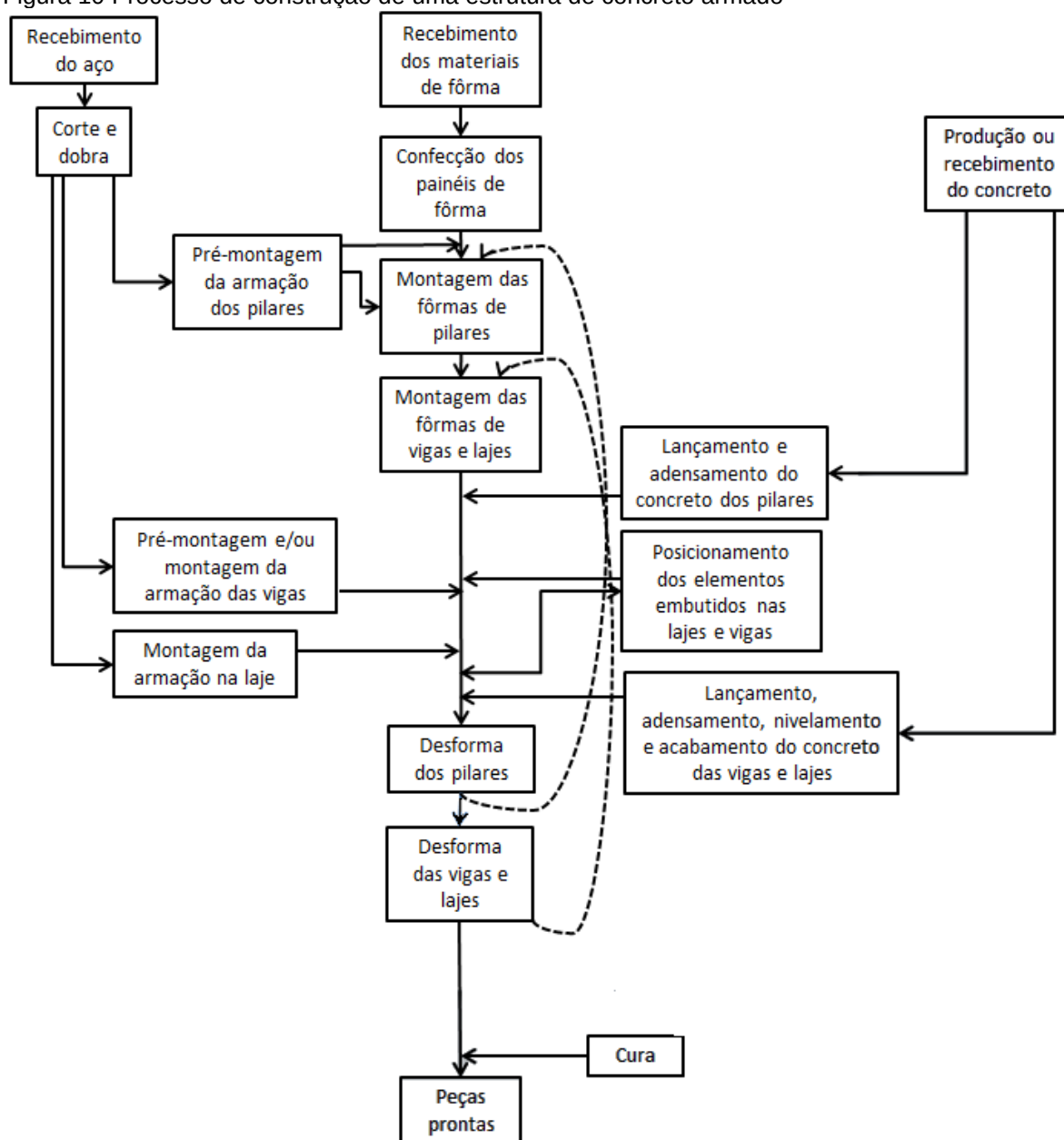
Volkov et al. (2016) afirmam que ao implantar a ferramenta de modelagem de informações de edifícios para um sistema de controle de gestão de construção eficaz, é imprescindível a atribuição e distribuição de funções entre os integrantes em suas respectivas fases do processo. Os autores sustentam igualmente que é essencial a representação do fluxo de informações entre os participantes, as funções que lhes foram designadas e o andamento do processo.

Outro requisito que garante a funcionalidade do padrão desse tipo de modelagem é o número de funções simultâneas que podem ser operadas garantindo assim a otimização do processo (VOLKOV et al., 2016). Segundo os mesmos autores, as normas e a literatura técnica abrangem como fases da construção: o recebimento do projeto e respectiva documentação; o planejamento de atividades e cronograma para a organização; organização do canteiro de obra; locação da construção; construção de edifícios temporários; armazenagem de materiais; trabalhos de fundação; obras de construção; documentação executiva e fim da obra.

Sigalov e Konig (2017) ressaltam que para o planejamento de cronogramas em BIM é obrigatória a disposição de informações temporais e características relacionadas diretamente com os objetos criados no modelo tridimensional computadorizado. Em adição a isso, os autores afirmam que a quantidade de informações gerais da obra é diretamente proporcional a melhores estimativas para o planejamento.

Um dos exemplos de processos, encontrados na literatura, para a execução de obras de concreto armado é mostrado por Freire (2001), que sugere que o método para execução de estruturas de concreto armado deve seguir as etapas descritas na Figura 10.

Figura 10 Processo de construção de uma estrutura de concreto armado



Fonte: Freire, (2001).

O processo descrito na Figura 10 será adaptado, no tópico 5.2.1.2, tendo como base autores citados nesse tópico. Será utilizado também os processos de projeto de Muller et al. (2017) (Figura 9), e de Aram et al. (2013) (Figura 8) para inserir características do sistema BIM dentro do processo de construção, como por exemplo a utilização de um repositório BIM e a ideia de atualizar o modelo conforme a obra avança. Esse esforço servirá para criar um processo preliminar para a metodologia do processo TO-BE apresentada no tópico 2.4.

3.2.4 Etapa de Manutenção em BIM

Uma das maiores dificuldades enfrentadas no planejamento e determinação de soluções para operações de manutenção é a falta de informações sobre as edificações, como por exemplo: especificações e características da estrutura, ficha com histórico de manutenções, listagem de profissionais envolvidos anteriormente e possíveis especialistas que possam coordenar um futuro reparo, ausência da rastreabilidade dos componentes que foram mantidos e aqueles que ainda precisam de assistência. Desta maneira, o gerenciamento de manutenção carece de um banco de dados que possa fornecer e armazenar informações sobre os elementos que integram a edificação, podendo ter acesso a dados que constituem a fase atual do ciclo de vida da construção, mas como também de fases passadas e até mesmo a simulação de futuras experimentações. (NUMMELIN et al., 2011)

A manutenção é comumente dividida em duas principais vertentes: preventiva e corretiva. A primeira refere-se a um planejamento programado para manutenção da estrutura em um tempo determinado, ou seja, em uma rotina. Em contrapartida a manutenção do tipo corretiva é efetuada em resposta a uma falha ou quebra. Ao comparar as duas dimensões descritas, pode-se afirmar que a manutenção preventiva abrange uma maior quantidade de informações ao ser comparada com a manutenção corretiva, deste modo obtendo respostas mais eficientes e eficazes (NUMMELIN et al., 2011). Nesse sentido, a elaboração dos modelos de processos de manutenção em BIM serão divididos conforme orientação deste autor.

A plataforma BIM tem a aptidão e qualificação para proporcionar soluções integradas e alcançar os melhores resultados de maneira integral. Por meio da adoção dessa tecnologia, é possível aperfeiçoar e promover a comunicação entre os integrantes da equipe e coadjuvar na troca mútua de informações. As ferramentas, frameworks e softwares que constituem o BIM, colaboram no auxílio de todas as partes interessadas ao longo do ciclo de vida do projeto (SMITH, 2009).

Volk e Schultmann (2014) apontam que o BIM fornece um banco de dados que serve tanto como repositório quanto como um agente viabilizador de dados para o gerenciamento e planejamento de procedimentos de manutenção para edificações já existentes e novas.

Com a facilidade da automatização de informações propostas pelo BIM e o sensoriamento de estruturas já sendo uma realidade, Theiler e Smarsly (2018) afirmam que o monitoramento da saúde estrutural já é um fragmento que constitui estruturas inteligentes, podendo ser controlado em tempo real por equipamentos tecnológicos que monitoram e examinam as edificações.

O monitoramento em tempo real é beneficiado pelo advento da tecnologia BIM, possibilitando realizar a ligação de sistemas de gerenciamento da saúde das estruturas (por exemplo sensores), com bancos de armazenamento de dados, permitindo um gerenciamento mais efetivo das informações e a visualização do estado dos elementos da construção (Theiler; Smarsly, 2018). Com base nessas informações e na dos tópicos anteriores, serão modelados processos de manutenção preliminares no tópico 5.2.1.3.

3.2.5 Etapa de Demolição em BIM

Como já mencionado, o processo BIM tem a habilidade de proporcionar várias vantagens para aqueles que aderem ao uso completo da tecnologia, como por exemplo ter acesso a todas as informações do ciclo de vida.

Nesse sentido, o NBIMS (2007), comenta que o BIM é um modelo virtual composto por características geométricas que são atreladas diretamente a um banco de dados, assim fornecendo dados relacionados a outras fases do ciclo de vida da edificação. As informações contidas no modelo que já foram vastamente usadas nas fases de projeto e construção, podem ser reutilizadas para o gerenciamento de resíduos de demolição, proporcionando maior eficiência no planejamento e realização da demolição da estrutura (HAMIDI et al., 2014). Porém, o nível de empregabilidade do uso da tecnologia BIM para projetos de demolição, focando na quantificação e destinação de resíduos gerados é baixo. (CARVALHO; SCHEER, 2015).

3.3 ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO

O concreto é um dos materiais de construção mais utilizados no mundo, sendo utilizados anualmente cerca de 11 bilhões de toneladas, valor este inferior apenas ao consumo de água (IBRACON, 2009). A sua ampla utilização deve-se ao fato de que

o cimento em contato com a água tem, dentro de um período, capacidade de se moldar em diversas formas e após endurecido, tem resistência similar à das rochas naturais.

A combinação de concreto e aço, onde o aço tem a função fornecer a resistência à tração faltante para o concreto, é denominada de concreto armado. Em algumas situações o aço também tem a habilidade de resistir a possíveis tensões de compressão (MCCORMAC; BROWN, 2012).

Estrutura de concreto armado é a ligação entre o concreto e o aço e tem como objetivo auxiliar nas forças geradas pela tração e compressão, sendo em sua grande maioria o concreto é resistente à compressão e o aço à tração (BOTELHO; MARCHETTI, 2011).

Segundo a NBR 6118:2014, elementos de concreto armado são aqueles que, para adquirir a resistência necessária para um desempenho estrutural adequado, dependem da aderência entre o concreto e a armadura, tendo os alongamentos iniciais aplicados somente depois da materialização da união dos insumos.

McCormac e Brown (2012) citam algumas vantagens na adoção do concreto armado, como:

- A elevada força de resistência à compressão por unidade de custo ao comparar com outros materiais;
- Alta resistência à elementos como água e fogo;
- Baixa necessidade de manutenção;
- Vida útil alta comparando-se com outros materiais;
- Habilidade de adquirir várias formas.

Para o concreto armado atingir essas características e possuir uma qualidade adequada para a estrutura, é necessário o atendimento das normas de cada uma das fases do ciclo de vida dessa estrutura de concreto armado. Ou seja, é necessário um projeto adequado, onde leve em consideração qual a utilização dessa estrutura, em que ambiente ela vai se inserir.

Além disso, é importante estabelecer uma construtibilidade adequada para que a execução possa acontecer de forma satisfatória, afim do concreto obter a qualidade descrita em projeto. No mesmo sentido, para esse concreto ter qualidade ao longo da sua vida útil é preciso de uma manutenção adequada. E na sua fase final, a sua forma adequada de demolição e descarte.

Com isso nota-se que, para ter qualidade o concreto armado precisa observar as normas, não apenas de projeto e execução, mais de todo o seu ciclo de vida. Além de uma boa interoperabilidade entre todas as fases do ciclo de vida.

3.4 FOLHAS DE TAREFA

As folhas de tarefa são instrumentos de coleta de informação que auxiliam entrevistas com profissionais e especialistas para o entendimento, documentação e apoio na modelagem dos processos. Esse instrumento será utilizado nesta dissertação como base para a montagem dos processos AS-IS, conforme mostrado no IDEF0, Etapa 3.1, do capítulo 2. Para a montagem das folhas de tarefa foi pesquisado na literatura autores que já utilizaram dessa metodologia de aquisição de informação, bem como modelos de folhas de tarefas.

Em um dos trabalhos onde é possível verificar a utilização dessas folhas, é na dissertação de Haubmann (2008), onde o autor utiliza folhas de tarefa para coletar informações de processos, sendo estas aplicadas em entrevistas individuais com os próprios responsáveis dos processos dentro das empresas, sendo o modelo de folha de tarefa utilizado pelo autor apresentado na Figura 11. Estes modelos serão adaptados para atender melhor a demanda deste estudo. As folhas de tarefas resultantes estarão detalhadas no capítulo 3.4, que trata dos componentes instrumentais desta dissertação.

Figura 11 Folhas tarefas para definição de processo (A) e identificação de tarefas (B)

FOLHA DE TAREFA 1ª Entrevista: Definição do Processo		Nº: FT 01 Versão:	Data:
Nome da Empresa:			
Ramo de Atividade:		Nº de Empregados:	
1. Classificação da Empresa:	De Manufatura: ☐	De Serviços: ☐	
2. Unidade Organizacional:			
3. Tipo de Produção:			
4. Nome do Processo:			
5. Origem do Processo:			
6. Cliente do Processo:			
7. Subprocesso Envolvido:			
8. Atividades Envolvidas no Processo:			
9. Nível Hierárquico do(s) Entrevistado(s):			

FOLHA DE TAREFA 3ª Entrevista: Identificação da Tarefa		Nº: FT 03 Versão:	Data:
1. Identificação da Tarefa:			
2. Descrição da Tarefa:			
3. Fato Gerador da Tarefa:			
4. Inputs da Tarefa (recursos):	• Materiais:		
	• Informacionais:		
	• Humanos:		
5. Output da Tarefa:			
6. Receptor do Produto ou Subproduto:			
7. Dependências:			
8. Tempo de Execução:	• Mínimo: • Médio: • Máximo:		
9. Custo de Execução:	• Mínimo: • Médio: • Máximo:		
10. Nível Hierárquico do(s) Entrevistado(s):	Executor(es) da Tarefa (Atores);		

Fonte: Haubmann, (2008).

3.5 INTEROPERABILIDADE – REQUISITOS SOB A ÓTICA DE PROCESSO

A interoperabilidade segundo a norma ISO/IEC 33001:2015 é a habilidade de dois ou mais sistemas ou componentes trocarem informações e utilizarem as informações que foram trocadas. O departamento de finanças e administração da Austrália (2007), através de seu framework, define que os processos de uma empresa são um conjunto de atividades ou operações necessárias para atingir seus objetivos, e o ímpeto para a busca da interoperabilidade de processos é a grande necessidade de colaboração entre todos os participantes.

Nesse mesmo sentido, Xu et al. (2009) cita que para a melhoria da eficiência dos processos é necessária uma grande colaboração de todos os profissionais e empresas envolvidos, mas essa colaboração só pode ser atingida se todos os processos dos envolvidos forem interoperáveis. Logo, para o atingimento da qualidade necessária para uma estrutura de concreto é necessário garantir que o processo do seu ciclo de vida esteja trabalhando desta forma, sendo importante identificar onde estão os problemas. Sobre essa perspectiva, Xu et al. (2009) cita que um dos primeiros passos é identificar os requisitos de interoperabilidade.

Os problemas de interoperabilidade podem ocorrer de diversas formas dentro dos processos do ciclo de vida de uma estrutura de concreto armado - seja por dificuldades do próprio processo, comunicação inadequada entre os agentes, problemas com falhas de comunicação entre os softwares, problemas de adaptação com as normas dentre outros. É possível categorizar esses problemas através do framework de Chen (2006) - Framework for Enterprise Interoperability (FEI), adaptado por Cestari et al., (2018), onde são definidos os conceitos de barreiras e perspectivas como mostrado na Figura 12.

Figura 12 Framework de Chen – FEI (Perspectivas e Barreiras).

	Conceptual	Technical	Organizational
Business	Business models, enterprise visions, strategies, objectives, policies	Infrastructure, technology	Work methods, business rules, and organizational structure.
Process	Processes models	Tools supporting processes modeling and execution	Responsibilities, Process management and rules
Service	Services models	Tools supporting services and applications	Responsibilities, service and application management and rules.
Data	Data models, (semantic, syntax).	Data storage and exchange devices	Responsibilities, data management and rules.

Fonte: Chen adaptado por Cestari et al. (2008).

As barreiras da interoperabilidade são divididas em:

- **Conceitual.** Esta barreira está ligada com as diferenças de sintaxe e semântica na transmissão de informações. Tal barreira não será tratada nesta dissertação, pois será analisado o ciclo de vida através da representação de seus processos, como ele é feito ou como ele seria feito em BIM, sem preocupação formal na análise semântica.
- **Tecnológica.** Refere-se à incompatibilidade das tecnologias de informação, seja estes problemas relacionados em guardar, trocar, processo e comunicação através do uso de computadores. Esta barreira também não será explorada, dando-se ênfase à avaliação da interoperabilidade sob a perspectiva dos processos sem a consideração da base tecnológica associada.
- **Organizacional.** Relacionada com a definição da responsabilidade, quem é a autoridade de cada tarefa e com a incompatibilidade entre as estruturas das organizações. A interoperabilidade organizacional é fundamental considerando que em cada uma das fases do ciclo há participação de empresas ou equipes com processos e necessidades de informação diferentes umas das outras, além do entendimento normativo comum.

As perspectivas de interoperabilidade propostas por Chen (2006) são divididas em:

- **Negócios.** Tem como objetivo harmonizar as diferenças entre as organizações e empresas no sentido de métodos de trabalho, legislação, cultura e outros, para que duas ou mais empresas possam se relacionar e o processo de

negócio possa acontecer. Nessa perspectiva é importante destacar a necessidade de adaptação com a legislação ou normas de forma que todas as etapas do ciclo de vida as atendam.

- **Processos.** Perspectiva que refere-se à habilidade de vários processos trabalharem juntos, sendo um processo que define a sequência dos serviços de acordo com o objetivo da empresa. Quando existem mais empresas trabalhando juntas, é necessário criar um processo comum para todas as empresas. A perspectiva de processo dentro da análise da interoperabilidade do ciclo de vida de uma estrutura tem caráter explícito, uma vez que os processos de cada fase da estrutura necessitam adquirir uma concepção comum. Para isso é necessário o mapeamento das atividades ao longo de todo ciclo e que cada etapa entenda quais informações e tarefas são necessárias execução. Ou seja, quanto melhor o detalhamento desse processo, melhor os agentes e empresas envolvidos vão entender qual sua função dentro deste ciclo.

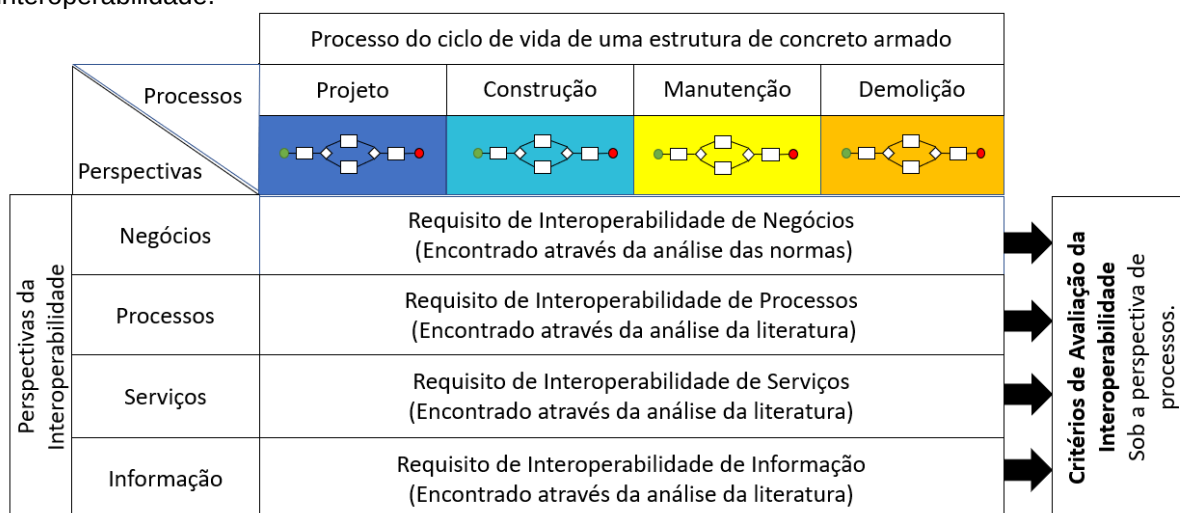
- **Serviços.** Está relacionado com identificar, compor e fazer várias funções independentes trabalharem juntas, não sendo apenas limitada ao uso computacional, mas também as funções organizacionais das companhias. Um dos serviços necessários dentro do processo é o meio de comunicação entre os agentes, onde se existir uma falha acarreta em problemas de interoperabilidade. Outro serviço também necessário é o de armazenamento dos documentos e informações geradas por esse processo.

- **Informação.** A perspectiva de informação está relacionada em obter o compartilhamento de vários tipos de documentos em linguagens diferentes. A interoperabilidade de informação é necessária para o acesso compartilhado da informação dividida em bases heterogêneas. Sob a perspectiva do processo do ciclo de vida de uma estrutura de concreto armado, é importante observar como a informação é gerada, processada e consumida; no processo tradicional são gerados inúmeros projetos com informações fragmentadas ao longo do ciclo de vida. Como já exposto na problemática do tema, segundo Doyle (1989), é necessário reduzir essa fragmentação, para que se torne mais fácil a gestão do fluxo informacional promovidos pelos processos.

Conforme mostrado na Figura 13, são utilizadas as perspectivas da interoperabilidade apresentadas como base para uma revisão da bibliografia. O foco será encontrar dentro da literatura e normas, elementos associados à resolução de

problemas de interoperabilidade que possam acontecer dentro do processo do ciclo de vida de uma estrutura de concreto armado. Esses elementos identificados são chamados de requisitos de interoperabilidade, atuando como base para a criação de critérios para a avaliação dos processos modelados. Nesse mesmo sentido, segundo o framework de Alemany et al. (2010), para que exista essa colaboração é importante que seja identificado dentro do processo problemas relacionados a interoperabilidade, pois uma vez que sejam identificados estes problemas, torna-se mais fácil aplicar melhorias nesse processo. Ressalta-se que este framework divide os requisitos de interoperabilidade segundo as perspectivas de Chen, conforme mostrado no tópico 2.3.

Figura 13 Ciclo de vida de uma estrutura de concreto armado relacionado com requisitos de interoperabilidade.



Fonte: O autor, (2019).

3.6 REQUISITOS DE NEGÓCIOS

Como já apresentado, Chen (2006) define como interoperabilidade de negócio sendo o trabalho de adequar os métodos, legislação, normas, cultura, para que os negócios possam se desenvolver com outras empresas. Quando aplicado para o processo do ciclo de vida de uma estrutura de concreto armado, é possível observar que existem normas específicas para cada uma das etapas desse ciclo que precisam ser atendidas.

As estruturas de concreto armado possuem um grande impacto em todas as fases devido a sua função estrutural, sendo a qualidade da edificação profundamente

ligada a qualidade de sua estrutura. Nesse sentido, interpretam-se as fases do ciclo de vida de uma estrutura como “entidades organizacionais” da definição dada por Chen (2006), uma vez que cada uma das etapas são atividades diferentes umas das outras e geralmente são empresas diferentes que executam as diferentes fases.

A norma NBR 6118 (2014) define os requisitos mínimos que uma estrutura de concreto armado deve atender durante sua construção e serviço sendo:

- Capacidade resistente: segurança contra a ruptura.
- Desempenho em serviço: capacidade da estrutura de ser utilizada para a função que foi projetada, durante sua vida útil, sem apresentar desgastes ou danos que comprometam essa utilização.
- Durabilidade: É a capacidade de resistir ao ambiente para onde a estrutura foi projetada.

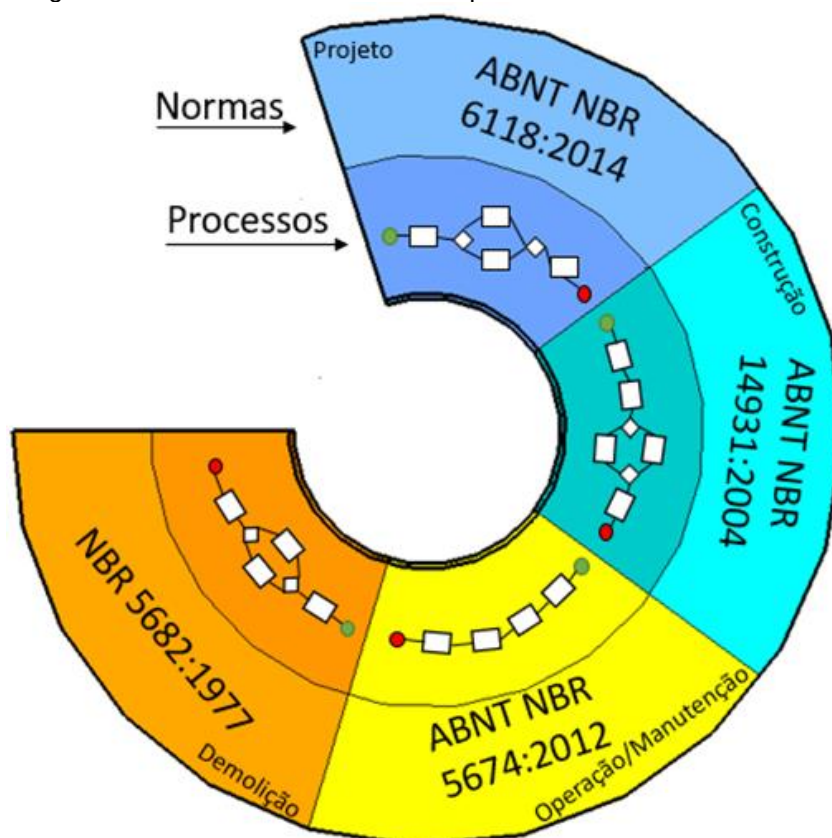
Para atender esses requisitos, todas as fases do ciclo de vida precisam atender a perspectiva de interoperabilidade de negócio afim de atender critérios de qualidade impostos. A norma 6118:2014 é clara ao dizer que a durabilidade das estruturas de concreto só é possível com a cooperação e o envolvimento de todas as fases o ciclo de vida.

Analizando as normas brasileiras mais importantes de cada etapa do ciclo de vida, é possível observar vários critérios que salientam a necessidade de interação de outras fases do ciclo ou de outros profissionais externos (onde nessa dissertação serão chamados como agentes externos) para o atingimento da qualidade e segurança da estrutura. Esses critérios serão transformados em tarefas para que seja possível identificá-los dentro dos processos que serão modelados, conforme apresentado na metodologia do tópico 2.3. Os próximos tópicos serão dedicados à exploração minuciosa dessas normas sob uma perspectiva focal nos processos envolvidos.

Conforme mostrado na figura 14, as normas escolhidas para cada uma das fases foram:

- Etapa de projetos: ABNT NBR 6118:2014.
- Etapa de construção: ABNT NBR 14391:2004.
- Etapa de manutenção: ABNT NBR 5674:2012.
- Etapa de demolição: NBR 5682:1977.

Figura 14 Normas dentro de cada etapa do ciclo de vida.



Fonte: O Autor (2018).

3.6.1 Projeto – NBR 6118

No Brasil a principal norma de projeto de estruturas de concreto armado é a ABNT NBR 6118, que em 2015 foi reconhecida pela ISO (International Organization for Standardization) como uma norma técnica que cumpre exigências internacionais, podendo ser utilizada em qualquer lugar do mundo. Apresentam-se a seguir todos os critérios de qualidade necessários ao projeto que dependam de um agente externo à fase de projetos utilizando a norma.

Condições gerais (item 5.1.1): Neste tópico a norma estabelece que caso existam requisitos adicionais, devem ser estabelecidos junto com o contratante.

Neste caso, a primeira participação de um agente externo ao ciclo de projetos é o contratante. A norma define o contratante como “pessoa física ou jurídica, de direito público ou privado, que, mediante instrumento hábil de compromisso, contrata a execução de serviços e/ou obras através de contratado técnica, jurídica e financeiramente habilitado.”

Desempenho em serviço (item 5.1.2.2): Para que a estrutura tenha a qualidade, a utilização ou operação da estrutura precisa ser para os fins que foi contratada.

Nesse tópico é observado que a operação impacta diretamente no desempenho de serviço da estrutura, então é necessário que o contratante defina bem sua utilização e que siga conforme foi planejado.

Durabilidade (item 5.1.2.3): A construção precisa resistir os impactos e influências ambientais do local onde vai ser implantado a estrutura.

Ou seja, é importante que o contratante forneça as informações adequadas sobre o local onde a estrutura vai ser implantada e garantir que na sua operação a área não será modificada, como por exemplo ser criado um corpo de água, ou utilização de materiais industriais, que aumentem a agressividade do meio.

Qualidade da solução adotada (item 5.2.1): A qualidade da solução deve considerar as condições, arquitetônicas, funcionais, construtivas, estruturais e de integração com os demais projetos como: elétrico, hidráulico, ar-condicionado e outros, sendo essas condições ditas pelos seus respectivos responsáveis técnicos. Sendo também necessária a anuência do contratante.

É possível observar nesse tópico uma grande necessidade de interoperabilidade de outros agentes: com os responsáveis técnicos de outras disciplinas que possam causar conflito com a estrutura de concreto armado e com as outras fases do ciclo também, como a discussão de condições construtivas, com a fase de construção e funcionais com a fase de operação. Além de clara a anuência do contratante.

Condições impostas ao projeto (item 5.2.2.1): Este tópico cita que todas as condições impostas, descritas em 5.2.2.2 a 5.2.2.6, devem ser estabelecidas e estarem de comum acordo entre o projetista estrutural e o contratante.

A comunicação com o agente contratante torna-se importante no início da fase de projetos, pois no caso desse tópico, o autor do projeto estrutural e o contratante devem estar de acordo em:

- Atender as normas inerentes ao que for projetado (item 5.2.2.2).

- Atender os estados limites descritos pela norma (item 5.2.2.3).
- Atender os critérios de durabilidade da norma (item 5.2.2.4).
- Para tipos especiais de estruturas consultar normas específicas (item 5.2.2.5).
- Definição de exigências suplementares (item 5.2.2.6).

O projeto estrutural deve possuir todas as informações para executar uma estrutura e para isso são necessários projetos complementares de escoramento e fôrmas, que não fazem parte do projeto estrutural (item 5.2.3.3). Então é necessário que outros profissionais se envolvam nesse processo para garantir as informações necessárias para a fase de construção.

(item 5.2.3.4): Com o objetivo de garantir a qualidade da execução da estrutura de uma obra, com base em um determinado projeto, medidas preventivas devem ser tomadas desde o início dos trabalhos. Essas medidas devem englobar a discussão e a aprovação das decisões tomadas, a distribuição destas e outras informações aos elementos pertinentes da equipe multidisciplinar e a programação coerente das atividades, respeitando as regras lógicas de precedência.

Este tópico prevê a participação da fase de construção da estrutura, ainda na etapa de projetos, para poder minimizar os possíveis erros e facilitar a execução da obra.

(item 5.3.1): A avaliação da conformidade do projeto é necessária que seja realizada por profissional habilitado, que não seja o projetista, sendo este contratado pelo contratante e registrado em documento específico.

(item 5.3.4): A avaliação da conformidade deve ser realizada antes da fase de construção e de preferência junto com a fase de projeto.

Como a norma pede para que a essa avaliação seja feita por profissional independente e simultaneamente ao processo de projeto, é um ponto de interoperabilidade externo a etapa.

(item 6.2.1): A vida útil do projeto é entendida como o período o qual se mantém as características das estruturas de concreto, sem intervenções significativas, atendido o uso e a manutenção prescrita pelo projetista e pelo construtor.

É importante destacar que não só o projeto, mas como a construção também fornece informações de como deve ser usado e como deve ser mantido a estrutura.

(item 6.2.3): A durabilidade das estruturas de concreto requer cooperação e atitudes coordenadas de todos os envolvidos nos processos de projeto, construção e utilização, devendo também serem obedecidas as disposições de 25.3 com relação às condições de uso, inspeção e manutenção.

Confirmando a problematização apresentada, esse tópico mostra que para uma estrutura de concreto cumprir sua vida útil em bom estado, é necessário a interoperabilidade de todos os envolvidos no ciclo de vida dessa estrutura.

(item 7.3.2): Deve ser previsto em projeto o acesso para inspeção e manutenção de partes da estrutura com vida útil inferior ao todo, como aparelhos de apoio, caixões, insertos, impermeabilizações e outros. Devem ser previstas aberturas para drenagem e ventilação em elementos estruturais onde há possibilidade de acúmulo de água.

A forma que é projetada a estrutura deve permitir a manutenção adequada da mesma, para que não seja criado elementos que impossibilitem a entrada para a checagem ou que acumule água, sendo que seria interessante nesse aspecto uma discussão com o responsável pela etapa de manutenção, para que seja avaliado se a estrutura projetada possui acessos para a manutenção.

(item 7.4.1): A durabilidade das estruturas é altamente dependente das características do concreto, da espessura e qualidade do concreto do cobrimento da armadura.

(item 7.4.2): Ensaios comprobatórios de desempenho da durabilidade da estrutura, frente ao tipo e classe de agressividade prevista em projeto devem estabelecer os parâmetros mínimos a serem atendidos. Na falta destes testes, utilizar a relação água/cimento para a garantia de durabilidade.

Na etapa de construção, é necessário garantir que o concreto aplicado na estrutura é de boa qualidade e que o cobrimento mínimo seja atendido. Na execução da estrutura é necessário observar qual classe de agressividade foi estipulada em projeto para certificar-se da qualidade do concreto.

(item 7.8.1): O conjunto de projetos relativos a uma obra deve orientar-se sob uma estratégia explícita que facilite procedimentos de inspeção e manutenção preventiva da construção.

(item 7.8.2): O manual de utilização, inspeção e manutenção deve ser produzido conforme item 25.3, que será abordado à frente.

Os projetos de estrutura de concreto precisam prever estratégias de manutenção e possuir manuais ou documentos que possam garantir que sejam realizados de forma correta.

(item 13.4.2): Limites para fissuração e proteção das armaduras quanto à durabilidade.

Para proteção das armaduras, é necessário que a etapa de construção controle o aparecimento de fissuras nos elementos de concreto armado.

Aceitação do projeto (item 25.1): O contratante é o responsável pelo recebimento dos projetos, tendo como critério de aceitação o cumprimento das exigências desta norma. Ocorrendo a não conformidade, deve ser emitido um termo de aceitação provisório, constando as pendências e uma vez sanada, deve ser emitido o termo de aceitação definitiva.

A aceitação do projeto é uma das últimas tarefas da fase de projeto, onde é relacionada com o agente externo contratante.

Manual de utilização, inspeção e manutenção (item 25.3): De posse das informações dos projetos, materiais e produtos utilizados para a execução da obra, deve ser produzido um manual de utilização, inspeção e manutenção, por responsabilidade do profissional habilitado, devidamente contratado pelo contratante. Esse manual deve especificar, de forma clara e sucinta, os requisitos básicos para a utilização e a manutenção preventiva, necessários para garantir a vida útil prevista para a estrutura, conforme indicado na ABNT NBR 5674, que será explorada no tópico de manutenção.

Algumas partes da estrutura necessitam de atenção especial, essas partes possuem vida útil diferente do restante da estrutura, como aparelhos de apoio, juntas de movimento etc. Elementos não estruturais que possam influir no processo de

deterioração das estruturas, como chapins, rufos, contrarrufos, instalações hidráulicas e impermeabilizações, devem ser vistoriados periodicamente.

O manual de utilização deve estabelecer qual é a utilização prevista da estrutura e seus limites, para que essa estrutura possa atingir a vida útil planejada. O manual de manutenção, conforme a norma, deve ser elaborado tanto pela etapa de projetos quanto a de construção. Já nas considerações a respeito dos elementos não estruturais, cabe uma análise arquitetônica da estrutura para identificar elementos que possam causar problemas a estrutura.

Com base na presente revisão da norma NBR 6118, foi possível identificar cerca de 33 tarefas externas à etapa de projeto que são necessárias para manter a qualidade da obra baseados nos critérios de durabilidade, desempenho e resistência. Porém, dessas 33 tarefas, 05 são duplicadas (em vermelho), ou seja 28 tarefas diferentes no total, conforme ilustra o Quadro 1. As cores destacam qual a fase que é relacionada à tarefa, sendo operação e manutenção em amarelo, construção em azul claro e agentes externos em cinza.

Quadro 1 Tarefas de projetos relacionadas com os agentes externos e outras fases do ciclo de vida.

CRITÉRIOS ABNT NBR 6118:2014		
Tópico	Agentes Externos	Tarefa
5.1.1	Contratante	Definição de requisitos adicionais
5.1.2.2	Etapa de Operação	Utilização adequada
5.1.2.3	Contratante	Definição da agressividade do meio ambiente
5.2.1	Responsável Técnico Elétrico	Identificação de Conflitos
5.2.1	Responsável Técnico Hidráulico	Identificação de Conflitos
5.2.1	Responsável Técnico Ar-condicionado	Identificação de Conflitos
5.2.1	Responsável Técnico Outros	Identificação de Conflitos
5.2.1	Contratante	Anuência do contratante
5.2.1	Responsável Técnico Arquitetura	Identificação de Conflitos
5.2.1	Etapa Operação	Identificação de Condições
5.2.1	Etapa Construção	Identificação de Condições
5.2.2.1	Contratante	Definição das condições impostas ao projeto
5.2.3.3	Responsável Técnico Escoramento	Projeto de Escoramento
5.2.3.3	Responsável Técnico Formas	Projeto de Formas
5.2.3.4	Etapa Construção	Análise da solução construtiva
5.3.1	Avaliador de conformidades	Avaliação das conformidades
6.2.1	Etapa Construção	Elaboração do manual de manutenção
6.2.1	Etapa Construção	Elaboração do manual de operação
6.2.1	Etapa Operação	Recebimento do manual de manutenção
6.2.1	Etapa Operação	Recebimento do manual de operação
6.2.1	Etapa Manutenção	Recebimento do manual de manutenção
7.3.2	Etapa Manutenção	Identificação de condições
7.4.1	Etapa Construção	Garantia do cobrimento da armadura
7.4.1	Etapa Construção	Garantia da qualidade do concreto de cobrimento
7.8.1	Etapa Manutenção	Elaboração do manual de manutenção
13.4.2	Etapa Construção	Controle da fissuração
25.1	Contratante	Aceitação do projeto
25.3	Etapa Construção	Elaboração do manual de operação
25.3	Etapa Construção	Elaboração do manual de manutenção
25.3	Etapa Manutenção	Recebimento do manual de manutenção
25.3	Etapa Operação	Recebimento do manual de operação
25.3	Etapa Operação	Recebimento do manual de operação
25.3	Responsável Técnico Arquitetura	Análise da interencia de projeto com a manutenção

Fonte: O Autor (2018).

Os agentes externos encontrados foram: contratante, responsável técnico elétrico, responsável técnico hidráulico, responsável técnico ar-condicionado, responsável técnico outros, responsável técnico arquitetura, responsável técnico escoramento, responsável técnico fôrmas e avaliador de conformidades. Foram, portanto identificados 9 agentes externos, sendo que no agente externo “Responsável Técnico Outros” é uma generalização, caracterizando uma quantidade variável de responsáveis técnicos, dependendo da complexidade da obra.

As fases de construção, manutenção e operação foram citadas com as seguintes frequências: 07 tarefas de construção, 03 tarefas de operação, 03 tarefas de manutenção. Ou seja, a etapa de construção é a fase do ciclo mais requisitada para interagir na etapa de projetos.

3.6.2 Construção – NBR 14931

A norma brasileira vigente para a execução de estrutura de concreto é a ABNT NBR 14931:2004. Essa norma detalha os requisitos necessários para a execução de uma estrutura de concreto, sabendo que os projetos já foram elaborados segundo a norma de projeto explorada no tópico anterior. A norma de execução de estruturas de concreto era antigamente contemplada dentro da norma de projetos já citada. Depois da atualização de 2003 da ABNT NBR 6118 passou a ser exclusivamente de projetos e, então sendo criado a presente norma para a execução de estruturas de concreto.

Os tópicos que apresentam a necessidade de interação com agentes externos ao ciclo são:

Projeto estrutural e de fundações (item 5.1): A execução da estrutura de concreto armado deve se basear em projetos de estruturas e fundações baseados nas normas brasileiras.

Logo, para as atividades de construção de uma estrutura de concreto armado é necessário ter os projetos da estrutura e da fundação, sendo estes feitos dentro das normas vigentes.

Documentação do projeto (item 5.2.1): O projeto deve conter todas as informações necessárias para a execução da estrutura de concreto armado. Essas especificações devem considerar requisitos específicos do local da obra, como instalações contra incêndio, impermeabilizações ABNT NBR 12190, segurança do trabalho, condições ambientais e outros.

Este item é um importante tópico para a interoperabilidade do processo de construção, revelando a quantidade de projetos necessários para uma execução adequada. Logo, durante a fase de projetos é necessário a realização dessas tarefas.

Documentação da qualidade (item 5.2.2.2): Se exigido, deve ser estabelecido um plano de qualidade para a execução da estrutura de concreto, sendo elaborado pelo projetista junto com o proprietário da obra. Caso exista, ele deve estar disponível na obra.

Essa exigência envolve a etapa de projetos e o agente externo “proprietário da obra” ou no caso, o contratante como foi estabelecido na norma do tópico anterior, então é possível determinar que exista uma tarefa na fase dos projetos, que é a criação de um plano de qualidade para a execução da obra.

Canteiro de obras – Generalidades (item 6.1): É necessário observar o correto armazenamento de materiais e equipamentos, bem como instalações necessárias para escritórios, dependências de permanências de operários durante a execução de obra, com base nas normas de segurança (NR18) e de canteiro (ABNT NBR 12284).

A organização do canteiro possui critérios fora da etapa de construção sendo necessários adequá-los conforme as normas citadas no tópico.

Sistema de fôrmas - Requisitos básicos (item 7.1): No caso de dúvidas quanto ao modo de funcionamento de uma estrutura específica, o engenheiro responsável pela execução da obra deve entrar em contato com o projetista para ter esclarecimento da forma correta de retirada do escoramento.

Importante que existam informações claras no projeto de fôrmas sobre o tempo previsto para a retirada e a forma correta para sua extração.

Precaução contra incêndios (item 7.2.3): Devem ser tomadas providências quanto ao risco de incêndio das fôrmas, observando a NR 18.

Necessário, então que se tenha especificação externa à etapa de construção referente ao risco de incêndio das fôrmas.

Componentes embutidos nas fôrmas e reduções de seção (item 7.2.4): A concentração de componentes e furos em determinadas regiões da estrutura deve ser objeto de verificação pelo projetista.

A etapa de projeto terá que ser consultada em caso de existir a concentração de elementos estruturantes de fôrmas, barras, tubulações e similares.

Fôrmas perdidas (remanescentes dentro da estrutura) (item 7.2.6): É recomendado evitar os casos em que após a concretagem da estrutura, não seja retirado as fôrmas ou parte dela.

Outro critério a ser analisado dentro do detalhamento do projeto de fôrmas, caso não seja possível evitar, é especificar quais os procedimentos para que isso não impacte na qualidade da estrutura.

Armaduras (item 8): Em nenhum caso deve ser empregado aço de qualidade diferente da especificada no projeto sem aprovação do projetista.

Caso seja necessário a alteração da qualidade do aço, deve passar pela aprovação do projetista.

Preparo e montagem da armadura (item 8.1.5): Os processos para preparo e montagem da armadura devem atender o que estabelece o projeto da estrutura.

Logo, o processo de montagem deve estar especificado dentro do projeto de estrutura de concreto.

Corte (item 8.1.5.2): O corte das barras da armadura deve atender às indicações do projeto da estrutura.

Tipos de emendas (item 8.1.5.4.1): As emendas não previstas no projeto só podem ser localizadas e executadas mediante consulta prévia ao projetista.

Juntas de concretagem (item 9.7): As juntas de concretagem devem sempre que possível ser previstas nos projetos estruturais.

Acabamento (item 9.8): Para o acabamento da estrutura ficar durável e uniforme, deve ser escolhido um concreto que atenda as características exigidas em projeto.

Devendo a fase de projeto definir o traço adequado para garantir uma boa trabalhabilidade do concreto.

Recebimento da estrutura de concreto (item 11): As estruturas devem ser recebidas, desde que cumpridas as exigências dessas normas, verificadas no documento “como construído” (5.2.2.1), atendendo também ao estabelecido nas especificações de projeto.

A norma não cita exatamente quem é o recebedor da obra, será então designado o contratante como recebedor, assim como a norma de projeto, designa o contratante como recebedor dos projetos.

Com base na presente revisão da norma, foi possível identificar 19 tarefas externas a etapa de construção que são necessárias para manter a qualidade da obra baseados nos critérios de durabilidade, desempenho e resistência. Porém, dessas 19 tarefas, 01 é duplicada (em vermelho), ou seja, 18 tarefas diferentes no total, conforme ilustra o Quadro 2. As cores destacam qual a fase que é relacionada à tarefa, sendo projeto em azul escuro e agentes externos em cinza.

Quadro 2 Tarefas de projetos relacionadas com os agentes externos e outras fases do ciclo de vida.

CRITÉRIOS ABNT NBR 14931:2004		
Tópico	Agentes Externos	Tarefa
5.1	Etapa projeto	Recebimento dos projetos estruturais
5.2.1	Etapa projeto	Instalações contra incêndio
5.2.1	Etapa projeto	Especificações de impermeabilizações
5.2.1	Segurança do trabalho	Especificações de segurança de trabalho
5.2.1	Etapa projeto	Projeto do canteiro de obras
5.2.2.2	Etapa projeto	Plano de qualidade para execução da estrutura
6.1	Segurança do trabalho	Adequar o canteiro conforme NR18
7.1	Etapa projeto	Dúvida no funcionamento da fôrma
7.2.3	Segurança do trabalho	Adequar o canteiro conforme NR18
7.2.4	Etapa projeto	Concentração de furos em regiões da estrutura
7.2.6	Etapa projeto	Especificações de procedimento em fôrmas perdidas
8	Etapa projeto	Mudança de qualidade de aço
8.1.5	Etapa projeto	Especificação da montagem da armadura
8.1.5.2	Etapa projeto	Especificação de cortes da armadura
8.1.5.4.1	Etapa projeto	Especificação de emendas
9.7	Etapa projeto	Especificação de juntas de concretagem
9.8	Etapa projeto	Especificação de acabamento
11	Contratante	Recebimento da obra

Fonte: O Autor, (2018).

Na fase de construção, com base na revisão da norma, foi possível encontrar apenas 02 agentes externos: o profissional responsável pela segurança do trabalho e o contratante. A única fase do ciclo que vida, que a norma pede que haja interação é a fase de projetos, sendo 14 pontos onde é citado a necessidade de projeto, especificações e informações, providas por essa fase.

É possível encontrar na norma de execução exigências para a etapa de projetos que a norma de projetos não contempla, como as especificações do canteiro de obras, impermeabilizações, plano de qualidade para execução da estrutura, instalações contra incêndio. A norma de projetos cita que é responsabilidade da etapa de construção, junto com a de projetos, a criação do manual de operação e manutenção, e não é citada na norma de execução. O documento que a obra se propõe a fazer é o projeto “como construído”, que deve ser agregado ao manual.

3.6.3 Manutenção – NBR 5674

As manutenções das edificações são normatizadas pela ABNT NBR 5674:2012. Ela define os escopos para o processo de manutenção dos elementos das edificações, sendo então inclusa as estruturas das mesmas. A norma define que é importante superar a cultura de que, com a entrega da obra encerra-se o processo construtivo, já que as edificações e a própria estrutura dela são feitas para atender os usuários durante muitos anos, atendendo os serviços e resistindo aos agentes ambientais. A necessidades das manutenções dá-se ao fato que é inviável considerar edificações descartáveis, devido ao alto valor que estas representam e ao impacto gerado ao meio ambiente.

Os tópicos da norma que apresentam a necessidade de interação com agentes externos ao ciclo são:

(item 4.1.6 - d): Periodicidade das inspeções prediais de uso e manutenção estabelecidas no manual de operação, uso e manutenção da edificação.

(item 4.2.1): As inspeções devem ser feitas atendendo aos intervalos constantes do manual elaborado conforme a ABNT NBR 14037 e do programa de manutenção de cada edificação.

Esse tópico define que a frequência das inspeções e manutenções são estabelecidas nos manuais, como já citados nas outras normas, ou seja as fases preliminares do ciclo devem elaborar esses manuais. Além disso, a norma sugere que a elaboração desse manual seja seguida através da NBR 14037 (ABNT, 2011).

(item 4.2.2): As inspeções devem ser realizadas por meio de modelos elaborados e ordenados de forma a facilitar os registros e sua recuperação, considerando:

c) as solicitações e reclamações dos usuários ou proprietários.

As manutenções, ao longo da vida útil, podem ser realizadas por diversas equipes de manutenção então, as informações e registros do que foi realizado devem ser enviados aos operadores, para que as próximas equipes ou profissionais possam ter acesso em novas manutenções.

É importante destacar que, além do que é estabelecido pelo manual, as solicitações e reclamações dos usuários também são as tarefas de entrada do serviço de manutenção.

(item 4.3.2): O programa de manutenção deve considerar projetos, memoriais, orientação dos fornecedores e manual de uso, operação e manutenção, além de características específicas.

A elaboração de um programa de manutenção deve ter como base muitas informações que estão fora da etapa de manutenção, necessitando de interoperabilidade com esses agentes.

Fluxo da documentação (item 7.2): A edificação deve dispor de um fluxo, escrito e aprovado, da documentação.

A etapa de operação está profundamente ligada com a etapa de manutenção, pois elas vão ter que ser interoperáveis até a demolição da edificação. Para isso, é necessário ter o registro das manutenções executadas ao longo do tempo conforme o fluxograma apresentado na norma.

Arquivo (item 7.4): Toda a documentação dos serviços de manutenção executados deve ser arquivada como parte integrante do manual de uso, operação e manutenção da edificação, ficando sob a guarda do responsável legal (proprietário ou

síndico). Toda esta documentação deve ser prontamente recuperável e estar disponível aos proprietários, condôminos, construtor/incorporador e contratado, quando pertinente. Quando houver troca do responsável legal (proprietário ou síndico), toda a documentação deve ser formalmente entregue ao sucessor.

O arquivo dessas informações deve ser registrado junto com o manual de uso, operação e manutenção da edificação, sendo atribuída a guarda ao proprietário, ou seja, os manuais serão atualizados ao longo de todo o ciclo de vida, então a interação das fases de manutenção e operação estão ligados até sua demolição.

Com base na presente revisão da norma, foi possível identificar 13 tarefas externas a etapa de manutenção que são necessárias para manter a qualidade da obra baseados nos critérios de durabilidade, desempenho e resistência. Porém dessas 13 tarefas, 03 são duplicadas (em vermelho), ou seja, 10 tarefas diferentes no total, conforme ilustra o Quadro 3. As cores destacam qual a fase que é relacionada à tarefa, sendo construção em azul claro, projeto em azul escuro, operação em amarelo e agentes externos em cinza.

Quadro 3 Tarefas de manutenção relacionadas com os agentes externos e outras fases do ciclo de vida.

CRITÉRIOS ABNT NBR 5674:2012		
Tópico	Agentes Externos	Tarefa
4.1.6 d)	Etapa projeto	Manual de operação e manutenção.
4.2.1	Etapa projeto	Manual de operação e manutenção.
4.1.6 d)	Etapa construção	Manual de operação e manutenção.
4.2.1	Etapa construção	Manual de operação e manutenção.
4.2.2	Etapa operação	Solicitações ou reclamações
4.3.2	Etapa construção	Projeto "como construído"
4.3.2	Etapa projeto	Entrega de projetos e memoriais
4.3.2	Fornecedores	Características específicas
4.3.2	Etapa construção	Manual de operação e manutenção.
4.3.2	Etapa projeto	Manual de operação e manutenção.
7.2	Etapa operação	Fornecimento dos registros de contratação
7.2	Etapa operação	Fornecimento dos registros de execução
7.4	Etapa operação	Anexação dos registros de manutenção no manual

Fonte: O Autor, (2018).

Na fase de manutenção, com base na revisão da norma, foi possível encontrar apenas 01 agente externo: o fornecedor. As fases do ciclo de vida que interagem com

a etapa de manutenção encontradas através da revisão das normas são a etapa de projetos com 02 tarefas, construção com 02 tarefas e operação com 04 tarefas.

A etapa de manutenção e operação são profundamente ligadas, pois a manutenção é recorrente ao longo de toda a vida útil da edificação, sendo o papel da operação de guardar os registros de manutenção para auxiliar as futuras intervenções na estrutura.

3.6.4 Demolição – NBR 5682

A norma de demolição utilizada para este estudo é a NBR 5682 de dezembro de 1977. Ela fixa condições para contratação e licenciamento de trabalhos de demolição, providências e precauções a serem tomadas antes e depois dos trabalhos e métodos de demolição.

Essa norma ficou vigente até novembro de 2008 e então foi cancelada, sem sucessora até o presente momento. Segundo Martins (2017), em sua dissertação, a justificativa utilizada para o cancelamento da norma foi inconclusiva, pois existia uma promessa que seria traduzida a norma americana para sua substituição, porém nada foi realizado.

Como hoje não existe norma exclusiva de demolição, apenas adaptações como a NR 18.5 que trata mais da segurança dos trabalhos de demolição na construção civil, este trabalho utilizará a norma antiga NBR 5682 (ABNT, 1977).

Os tópicos da norma que apresentam a necessidade de interação com agentes externos ao ciclo são:

Contratante (item 3.8): Pessoa física ou jurídica de direito público ou privado que, mediante instrumento hábil de compromisso, contrata o serviço de demolição.

A tarefa externa ao ciclo para o início da demolição é realizada pelo agente externo contratante.

Projeto estrutural (item 5.9): Todos os desenhos e plantas da edificação devem ser examinados. Quando existirem dúvidas no que diz respeito ao projeto estrutural um especialista deve ser procurado.

Um dos primeiros passos para a demolição ser realizada de forma segura é a análise dos projetos existentes, ou seja é importante que todos os projetos sejam

mantidos ao longo dos anos, até sua demolição. Caso não existam mais, é necessário então uma investigação por um profissional habilitado na área.

Licenciamento (item 5.14): Antes do início de qualquer trabalho de demolição, o proprietário ou seu agente deve requerer às autoridades licenças para executar a demolição.

Então a tarefa de requisito da licença fica a cargo do contratante, sendo necessárias para a execução da demolição.

Fechamento de vias públicas (item 5.27): Quando uma interdição temporária da rua ou ruas puder facilitar de demolição, o contratante deve procurar as autoridades para conseguir as licenças.

O agente contratante deve então proceder na tarefa de conseguir também as licenças para o fechamento das vias caso necessário.

(item 6.3.2): A autoridade competente pode exigir que o contratado tome medidas adicionais.

Fica então, a empresa contratada para a demolição obrigada a cumprir as exigências das autoridades competentes.

Com base na presente revisão da norma, foi possível identificar 06 tarefas externas a etapa de demolição que são necessários para uma execução segura, conforme ilustra o Quadro 4. As cores destacam qual a fase que é relacionada à tarefa, sendo construção em azul claro, projeto em azul escuro e agentes externos em cinza.

Quadro 4 Tarefas de demolição relacionadas com os agentes externos.

CRITÉRIOS ABNT NBR 5682:1977		
Tópico	Agentes Externos	Tarefa
3.8	Contratante	Contratação do serviço de demolição
5.9	Etapa projeto	Projetos estruturais
5.9	Etapa construção	Projeto "como construído"
5.14	Contratante	Obtenção de licenças para a demolição.
5.27	Contratante	Obtenção de licenças para fechamento de rua
6.3.2	Autoridades	Exigências de medidas cautelares adicionais

Fonte: O Autor, (2018).

Na fase de demolição, com base na revisão da norma, foi possível encontrar 02 agentes externos: o contratante e as autoridades. As fases do ciclo de vida que interagem com a etapa de demolição encontradas através da revisão das normas são: as etapas de projetos e construção, ambas com 01 tarefa.

A demolição é o fim do ciclo de vida da estrutura. Nessa etapa, a interação necessária das fases anteriores, dita pela norma, são os projetos estruturais e o projeto “como construído”. Apesar de serem poucas interações, devido ao longo espaço de tempo do início ao fim da estrutura, essa interoperabilidade merece atenção.

3.7 REQUISITO DE PROCESSOS

Como já explicado, esta interoperabilidade remete ao objetivo de fazer vários processos trabalharem juntos, afim de definir a sequência de tarefas para atender as necessidades de uma companhia. Além dos processos internos, é necessário a interoperabilidade entre outras empresas ou profissionais, para criar um processo único (Chen, 2010).

Porém, para que essa colaboração ocorra é necessário que os participantes saibam quais são suas atividades e quais informações precisam gerar. O'Brien et al (2007) citam que a indústria da construção civil impõe desafios no quesito integração das empresas, devido à dificuldade do clima organizacional que geralmente é de um curto espaço de tempo. Ou seja, as empresas do ciclo da construção civil se relacionam apenas durante uma obra específica e ainda possuem muitas vezes práticas de serviços diferentes. Um dos pontos que o autor cita é que exista um bom grau de detalhamento do processo de negócio das empresas. Essa necessidade é para que seja possível detectar em qual parte do processo são geradas as informações e quem é seu responsável.

Esse detalhamento pode ser feito através do mapeamento de processos que será abordado melhor nos tópicos seguintes. É possível dizer que o principal objetivo do mapeamento de processo é criar subsídios e informações necessárias para o estudo e entendimento sobre o processo existente (PAVANI JR; SCRUGLUIA, 2011).

Nesse sentido, um dos requisitos da interoperabilidade de processos relaciona-se ao grau de detalhamento do processo de negócio do ciclo de vida de uma estrutura de concreto armado, em termos do sucesso na representação do fluxo de informação

e relações entre os agentes envolvidos. Desta forma, é possível analisar os processos do ciclo de vida (tradicional e com a utilização de BIM) para saber qual é o mais detalhado, ou seja, revelando um diagnóstico sobre o entendimento das empresas e especialistas sobre o processo que eles atuam.

Esse requisito de interoperabilidade de processos também foi definido por Alemany et al. (2010), conforme já mencionado no tópico 2.3, onde foram adaptados os requisitos apresentados, para formar o requisito proposto por essa dissertação.

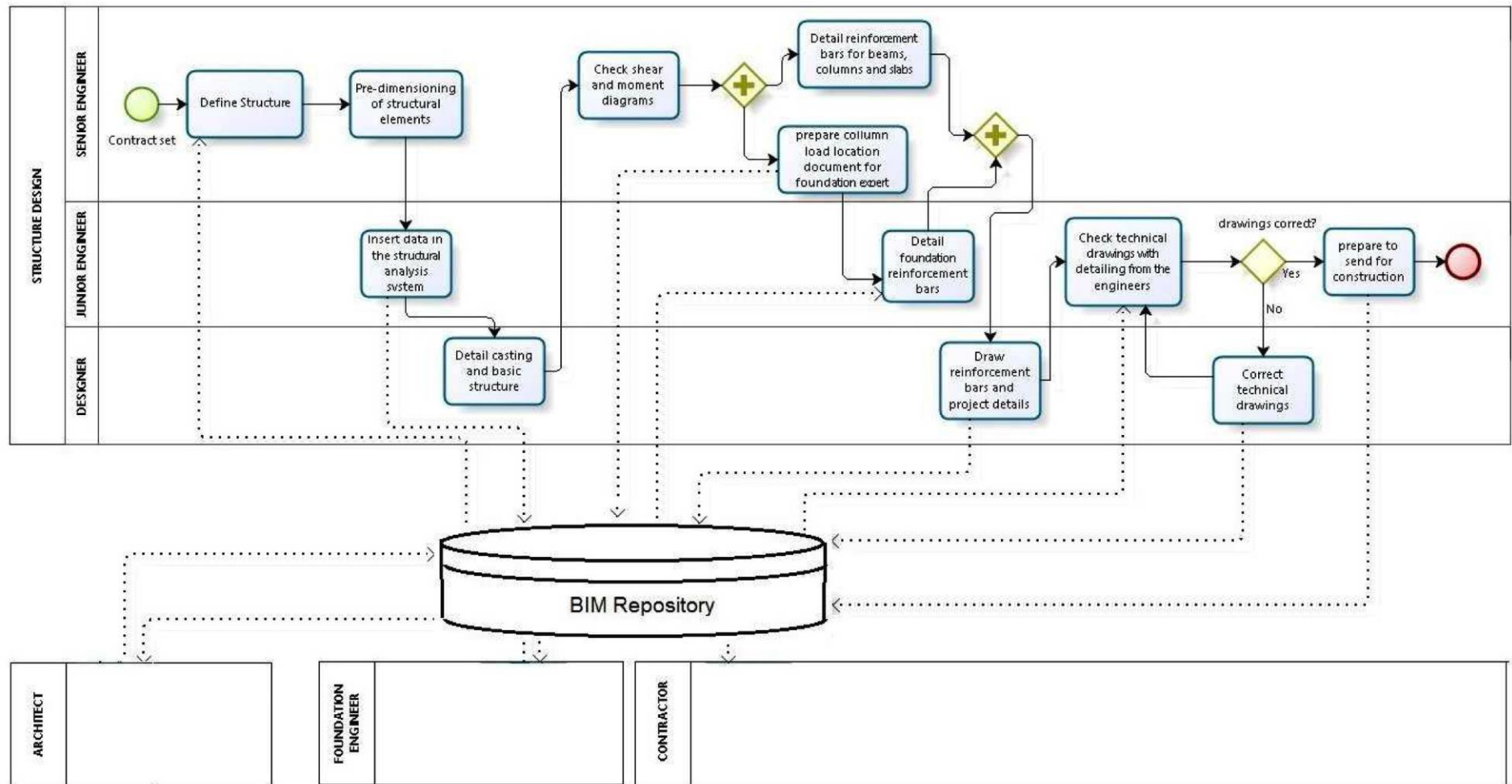
3.8 REQUISITO DE SERVIÇOS

Como já citado anteriormente, a interoperabilidade sob a perspectiva de serviço está relacionada com identificar, compor e fazer várias funções independentes trabalharem juntas, não sendo apenas limitada ao uso computacional, mas também as funções organizacionais das companhias. Um dos pontos principais que a interoperabilidade de serviços pode atuar é na infraestrutura da comunicação. Segundo Chituc et al. (2007), um sistema de mensagem é necessário para a comunicação entre as empresas, garantindo que a informação seja trocada de forma satisfatória. Esse sistema de troca de informação pode ser feito através de uma base de dados, onde as empresas ou profissionais podem obter informações sem, necessariamente, entrar em contato via telefone ou e-mail.

Essa troca de informação entre as fases do ciclo de vida, dentro do processo tradicional é feita majoritariamente através de projetos ou documentação em papéis (Eastman, 2011). Porém, com a utilização do sistema BIM, segundo Muller et al. (2017), existe uma melhoria da comunicação entre as empresas e profissionais, ao longo do ciclo de vida, pois todas as informações ficam dentro de um repositório BIM, que pode ser acessado pelos diferentes participantes, possibilitando a agregação de novas informações. Nesse sentido, representa uma redução da necessidade de comunicação direta com os participantes para a obtenção de informações.

Muller et al. (2017) em seu artigo demonstra de que forma esse repositório atua dentro de um processo de design de uma estrutura de concreto. Na Figura 15, é possível perceber que toda informação gerada ao longo do processo vai se concentrando em um local chamado repositório BIM e os participantes do processo modelado, ao invés de precisarem se comunicar entre si para obter essas informações, utilizam diretamente o repositório.

Figura 15 Repositório BIM



Fonte: Muller et al., (2017).

Dessa forma, no contexto do ciclo de vida de uma estrutura de concreto, o requisito de interoperabilidade de serviços será contemplado pela análise dos dois modelos de processos (com e sem BIM), em termos de quantas vezes é necessário um agente se comunicar com o outro e quantas vezes essa comunicação poderia ser substituída por um serviço como o repositório BIM.

3.9 REQUISITO DE INFORMAÇÃO

É a capacidade de encontrar e fornecer informações que estão em bases diferentes, podendo ser diferentes computadores, softwares ou dispositivos em lugares físicos diversos. A integração das informações dentro dos processos das empresas foi, por muito tempo considerada um problema exclusivamente de tecnologia da informação, porém, para Vernadat (2009), o verdadeiro desafio é prover a informação para o lugar certo na hora certa. Esse desafio é ainda maior dentro da construção civil, pois como já dito, os ciclos de vida dos empreendimentos são bastante longos, da ordem de décadas (Fabricio, 2002) e devido a essa dimensão temporal dificulta a integração das informações ao longo deste ciclo.

Um dos motivos apontados por Howard (1989) é que, apesar de todas as fases do ciclo de vida possuírem especialistas, estes continuam trocando informações e tomando decisões como era feito há um século atrás. Ou seja, utilizando desenhos e documentação em papel, não percebendo mudança na forma do método de troca de informação entre as empresas e fases do ciclo de vida da construção civil.

Howard (1989) diz também que em 1989, 30 anos atrás, era comum que os profissionais e empresas tivessem softwares poderosos de desenho, cálculos e análises gráficas. Porém, no intercâmbio de informações entre outros profissionais e empresas do ciclo de vida, essas informações eram passadas através de documentos de papéis que se degradavam e se perdiam ao longo do tempo do ciclo de vida. Caso houvesse necessidade de uma manutenção ou até mesmo uma demolição da estrutura, era pouco provável que existissem informações disponíveis. Nesse mesmo sentido, Fabricio (2002) também comenta que existe uma dificuldade de se obter informações de outras fases do ciclo, pois as informações são fragmentadas em diferentes agentes.

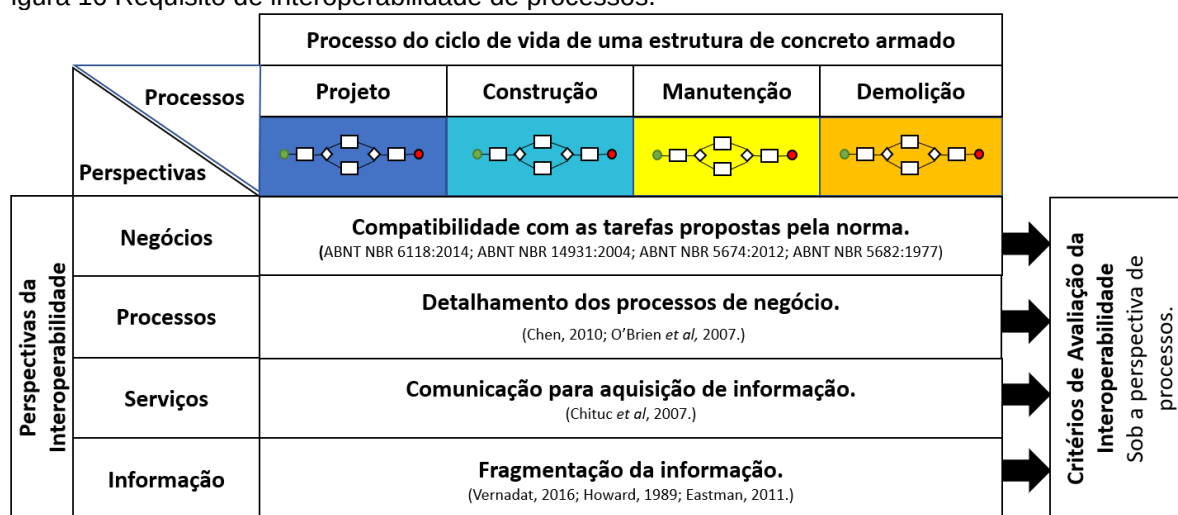
Nesse cenário emerge o BIM, onde Eastman (2011) sugere que a AEC está passando por uma revolução, onde existe a troca da utilização de documentação 2D e de utilização de papel para a utilização de um modelo único para a edificação, construído em um ambiente digital através de um método de trabalho colaborativo em todas as fases.

Com base nisso, o requisito de interoperabilidade da informação é interpretado como a quantidade de documentos gerados de forma fragmentada. Ou seja, analisando o processo tradicional e o processo com a utilização de BIM, investiga-se quantos documentos de papel ou em arquivo digital, de forma separada são gerados e não agregados em um único arquivo, conforme é proposto por Eastman (2011).

3.10 SÍNTESE DOS REQUISITOS DE INTEROPERABILIDADE

Com as análises dos capítulos anteriores, chegaram-se aos requisitos de interoperabilidade, que estão resumidos na Figura 16. Nela é mostrado qual o requisito foi escolhido para representar as perspectivas de interoperabilidade, com os autores e normas que compartilham essa visão.

Figura 16 Requisito de interoperabilidade de processos.

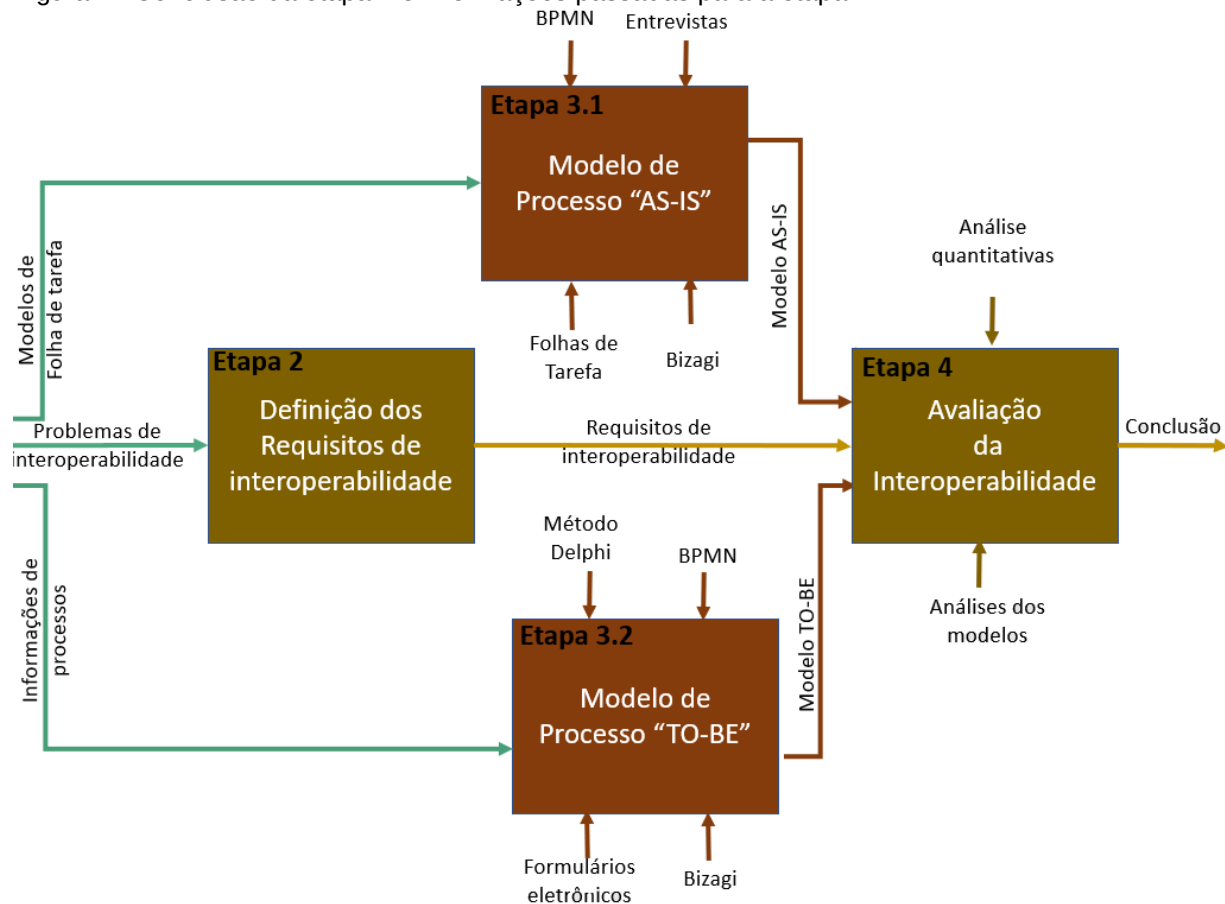


Fonte: O Autor, (2019).

A definição dos requisitos também conclui o objetivo específico i., sendo que estes serão consumidos pela etapa 4, conforme diagrama apresentado na Figura 3,

mostrado em sua parte na Figura 17, para a criação de critérios que irão avaliar os processos que serão modelados nas etapas 3.1 e 3.2.

Figura 17 Conclusão da etapa 2 e informações passadas para a etapa 4.

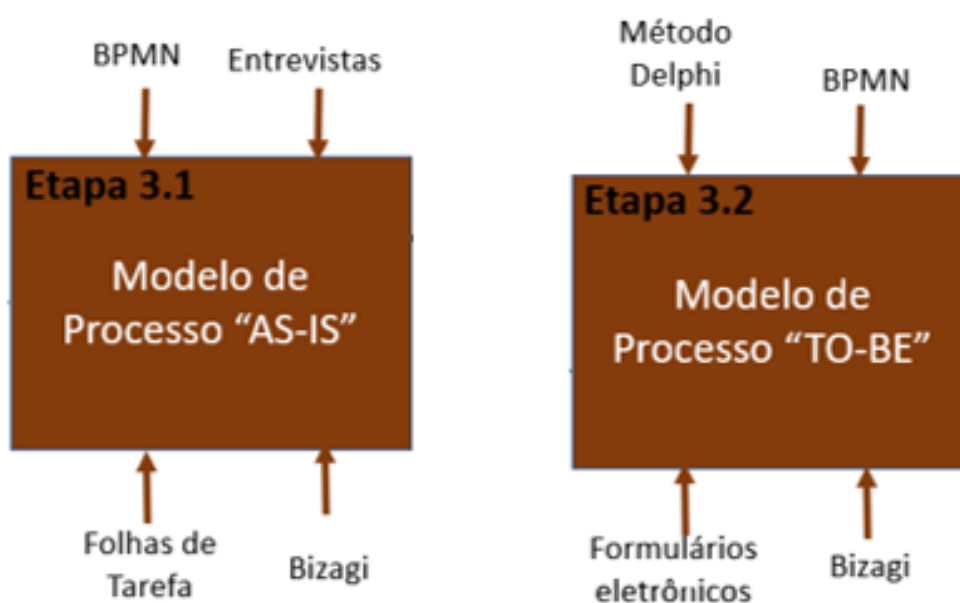


Fonte: O Autor, (2019).

4 COMPONENTES INSTRUMENTAIS

Para a realização da modelagem dos processos AS-IS (etapa 3.1) e TO-BE (etapa 3.2), mostrados pelos componentes do diagrama IDEF0 (Figura 03) trazidos para Figura 18, serão utilizados alguns instrumentos metodológicos para o mapeamento e a notação gráfica dos fluxos dos processos. A definição e o conceito desses instrumentos estão definidos nos tópicos a seguir.

Figura 18 Conclusão da etapa 2 e informações passadas para a etapa 4.



Fonte: O Autor, (2019).

4.1 MAPEAMENTO DE PROCESSOS

O mapeamento de processos é um dos principais instrumentos utilizados por este trabalho, sendo como seu principal objetivo criar subsídios e informações necessárias para o estudo e o entendimento sobre o processo existente (PAVANI Jr; SCRUGLUIA, 2011).

Pavani Jr e Scrugluia (2011) sugerem que a modelagem de processos pode ser dividida em dois momentos. Na forma AS-IS, que é a situação atual, e a forma TO-BE, onde é uma situação proposta. Essas duas situações serão modeladas nessa dissertação, sendo utilizada a forma AS-IS para caracterizar a forma com que as empresas que não utilizam BIM realizam os seus processos e a modelagem da forma

TO-BE, utilizada para representar o uso do BIM em todos os processos do ciclo de vida de uma estrutura de concreto armado.

A parte gráfica é a parte mais importante dentro da modelagem de processos, pois representa todo o seu sequenciamento de tarefas e sua estrutura e funcionamento básico são representados de forma clara e objetiva. Para o mapeamento é necessário que se faça um levantamento de tarefas no local em que acontece o processo (MATTOS et al., 2006).

O mapeamento de processos dentro do BIM é suportado pela metodologia IDM da buildingSMART, conforme comentado no tópico processos BIM. Essa metodologia pode ser utilizada para documentar e descrever processos existente ou novos, de forma descrever as informações associadas a cada tarefa, com o objetivo de implementar informações dentro de softwares BIM.

Porém, neste trabalho será utilizado o mapeamento de processos através da utilização de folha de tarefas para os processos AS-IS e o método Delphi para os processos TO-BE. Ressalta-se que esta dissertação tem como objetivo de mapear os processos da forma como eles estão sendo executados ou entendidos, para poder avaliar a interoperabilidade no estado que se encontram e não para implementá-los em algum software BIM.

4.2 FOLHAS DE TAREFA

As folhas de tarefa que serão utilizadas nesse trabalho para a identificação dos processos AS-IS, serão feitas com base nas folhas de tarefas de Haubmann (2008) expostas no tópico 3.4. Serão duas folhas de tarefa utilizadas. A primeira será a de caracterização das empresas entrevistadas, onde será perguntado informações referentes ao número de empregados, ramo de atividades e quais tarefas são realizadas em seus processos. A segunda folha de tarefa tem o objetivo de identificar as tarefas mencionadas na primeira folha, para assim formar o processo da empresa entrevistada.

Algumas adaptações foram realizadas, com relação ao apresentado no trabalho de Paulo Haubmann (2008), para deixar as folhas de tarefas mais voltadas para os processos da construção civil. Essas mudanças são mostradas na Figura 19 e 20.

Figura 19 Adaptação da folha de caracterização da empresa.

FOLHA DE TAREFA 1ª Entrevista: Definição do Processo		Nº: FT 01 Versão:	Data:
Nome da Empresa:			
Ramo de Atividade:		Nº de Empregados:	
1. Classificação da Empresa:	De Manufatura: ☐	De Serviços: ☐	
2. Unidade Organizacional:			
3. Tipo de Produção:			
4. Nome do Processo:			
5. Origem do Processo:			
6. Cliente do Processo:			
7. Subprocesso Envolvido:			
8. Atividades Envolvidas no Processo:			
9. Nível Hierárquico do(s) Entrevistado(s):			

FOLHA DE TAREFA Caracterização da Empresa		Data: __/__/__	Nº Folha __
Nome da Empresa:			
Ramo de Atividade: (Projeto, Construção, Manutenção, consultoria?)			
Nº de Empregados: (Nº de pessoas Envolvidas na Atividade)			
Disciplinas Envolvidas: (Função das pessoas envolvidas, arquiteto, engenheiro, mestre, encarregados e etc.)			
Nome do Processo: (Nome da atividade que será feita na empresa?)			
Origem do Processo: (De onde vem a solicitação)			
Destino do Processo: (P/ quem vai?)			
Tarefas Envolvidas na Atividade: (Nome das tarefas que serão realizados no decorrer da atividade)			

Fonte: Adaptado de Haubmann (2008).

Figura 20 Adaptação da folha de identificação das tarefas.

FOLHA DE TAREFA 3ª Entrevista: Identificação da Tarefa		Nº: FT 03 Versão:	Data:
1. Identificação da Tarefa:			
2. Descrição da Tarefa:			
3. Fato Gerador da Tarefa:			
4. Inputs da Tarefa (recursos):	• Materiais:		
	• Informacionais:		
	• Humanos:		
5. Output da Tarefa:			
6. Receptor do Produto ou Subproduto:			
7. Dependências:			
8. Tempo de Execução:	• Mínimo: • Médio: • Máximo		
9. Custo de Execução:	• Mínimo: • Médio: • Máximo:		
10. Nível Hierárquico do(s) Entrevistado(s):	Executor(es) da Tarefa (Atores);		

FOLHA DE TAREFA Identificação das Tarefas		Data: __/__/__	Nº Folha __
Identificação da Tarefa: (Nome da Tarefa)			
Descrição da Tarefa: (Breve descrição do que será feito)			
Fato Gerador da Tarefa: (De onde veio a tarefa anterior, nome do início da tarefa)			
Inputs da Tarefa (recursos): (Informações necessárias p/ realizar a tarefa)			
Output da Tarefa: (Informações Geradas por esta tarefa)			
Receptor do Produto: (Destino da Tarefa)			
Dependências: (A tarefa depende de quem?)			
Software Utilizado: (Utiliza algum programa? Liste todos, e para que cada é utilizado...)			

Fonte: Adaptado de Haubmann (2008).

4.3 MÉTODO DELPHI

Para a modelagem do processo TO-BE com utilização do BIM, será utilizado o Método Delphi, ou também conhecido como Delphi, sendo um processo iterativo de pesquisa e entrevistas que visa coletar o conhecimento e suposições sobre o desenvolvimento de um processo ou um tema estudado. A utilização desse método é extremamente frutífera quando o tema a ser estudado é de natureza complexa ou delicada. Por essência, essa metodologia pode ser usada para pesquisas de ordem quantitativa e qualitativa (LAAKSO et al., 2012).

Caracteriza-se o método Delphi como um estruturador de um processo de interações entre grupos, para que assim os indivíduos que os compõem possam de maneira eficaz lidar com a complexidade do problema em discussão (LINSTONE et al., 2002).

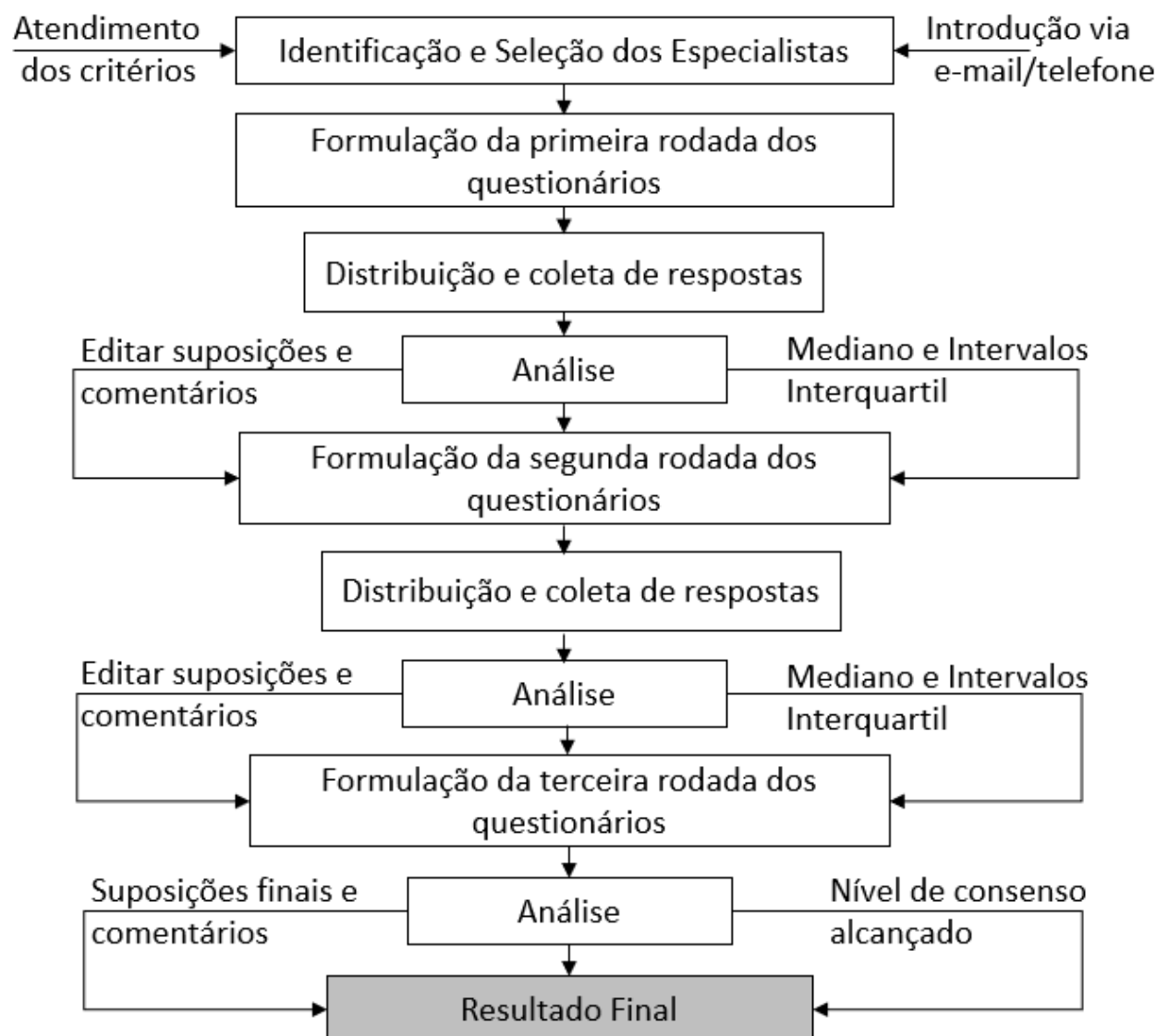
De acordo com Henchion e McIntyre (2005), define-se Método Delphi como a presunção anônima realizada por um grupo composto por diversos profissionais e especialistas que são independentes entre si, realizando rodadas de perguntas, onde cada pessoa entrevistada fará suas considerações sobre o tema analisado, até todos os participantes chegarem a um consenso.

As entrevistas ou pesquisas realizadas no decorrer das rodadas do método Delphi são caracterizadas como pessoais e não estruturadas, dando liberdade para o entrevistado expressar-se de maneira livre sobre o assunto abordado (KINNEAR; TAYLOR, 1987).

Segundo Avella (2016) as vantagens do uso do método Delphi são: flexibilidade e simplicidade, compartilhamento de conhecimento, baixo custo efetivo, liberdade de expressão para os entrevistados, heterogeneidade dos participantes e não existência de limitações geográficas.

A Figura 21 demonstra a esquematização do funcionamento da metodologia Delphi.

Figura 21 Etapas do Método Delphi



Fonte: Adaptado de Henchion; McIntyre, (2005).

4.4 BPMN

Com o processo mapeado através das folhas de tarefa e do método Delphi, os processos serão modelados utilizando o *Business Process Modeling Notation* (BPMN). Esta linguagem foi criada devido a uma carência de padronização na hora de simbolizar processos de negócios, sendo composta por regras suficientemente formais e relevantes, porém de fácil entendimento não só entre especialistas, mas como também entre usuários finais (CHINOSI; TROMBETTA, 2012). Segundo *Object Management Group* (2011), *Business Process Modeling Notation*, abreviado como

BPMN, vem ocupando a posição de liderança na padronização da modelagem de fluxos de trabalho.

BPMN é a ilustração de processos de negócio, representados por formas geométricas que se interconectam entre si e conduzem o fluxo das atividades desenhadas de forma encadeada (WHITE, 2004).

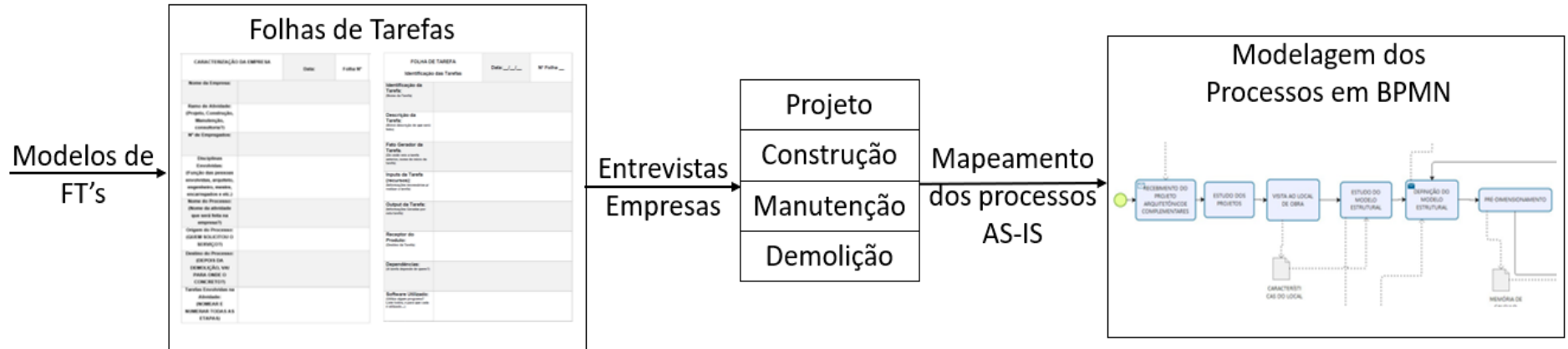
Desenvolvida pela *Business Process Management Initiative* (BPMI) com o intuito primordial de fornecer uma linguagem de fácil acesso para todos os usuários envolvidos, BPMN é uma notação estandarizada para a elaboração de modelos e mapas que ilustram fluxos de processos de negócios (OWEN; RAJ, 2003). Segundo Owen e Raj (2003), a habilidade do BPMN em especificar diagramas de processos de negócios permite que os fluxogramas desenhados desempenhem corretamente duas incumbências: a facilidade de uso com o entendimento de todos os participantes e a capacidade de expressar de forma competente a complexidade dos fluxos de processos.

Percebe-se na literatura, um uso crescente do BPMN para modelagem de processos na AEC. Na tese de Abdelhady (2013) são mapeados os processos de empresas de porte médio de construção civil para criar um modelo de processo que facilite a implementação do BIM. Outro exemplo é a dissertação de Amarilla (2013), onde foram realizadas entrevistas semi-estruturadas, análise de documentos e observações para mapear os processos de negócios de empresas da construção civil utilizando o BPMN.

4.5 SÍNTESE INSTRUMENTAL

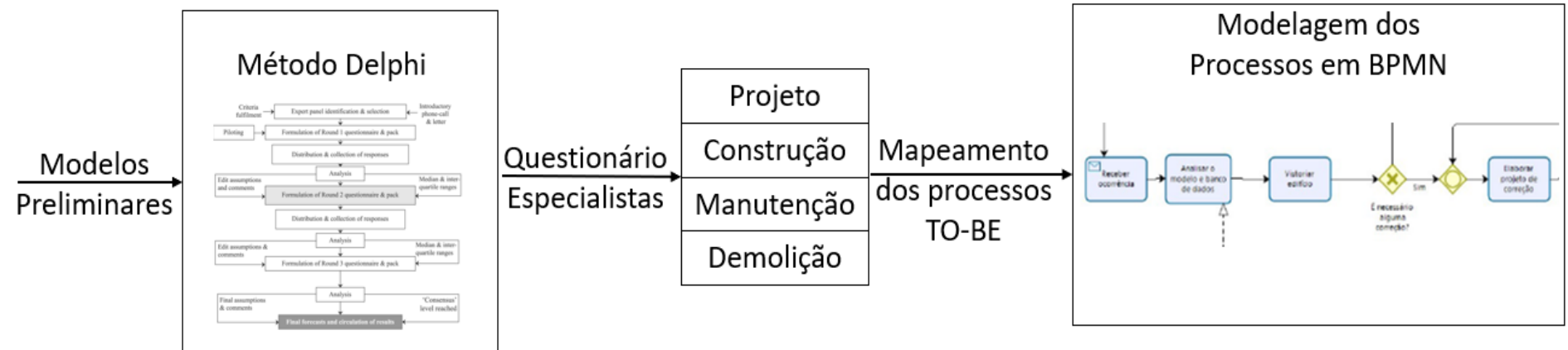
O mapeamento e modelagem dos processos que serão realizados no próximo capítulo, seguirão a metodologia mostrada na Figura 22 e Figura 23, para os processos AS-IS e TO-BE, respectivamente. As figuras mostram a sequência da utilização dos instrumentos apresentados nesse capítulo.

Figura 22 Sequência dos instrumentos utilizados para a modelagem dos processos AS-IS.



Fonte: O Autor, (2019).

Figura 23 Sequência dos instrumentos utilizados para a modelagem dos processos AS-IS.

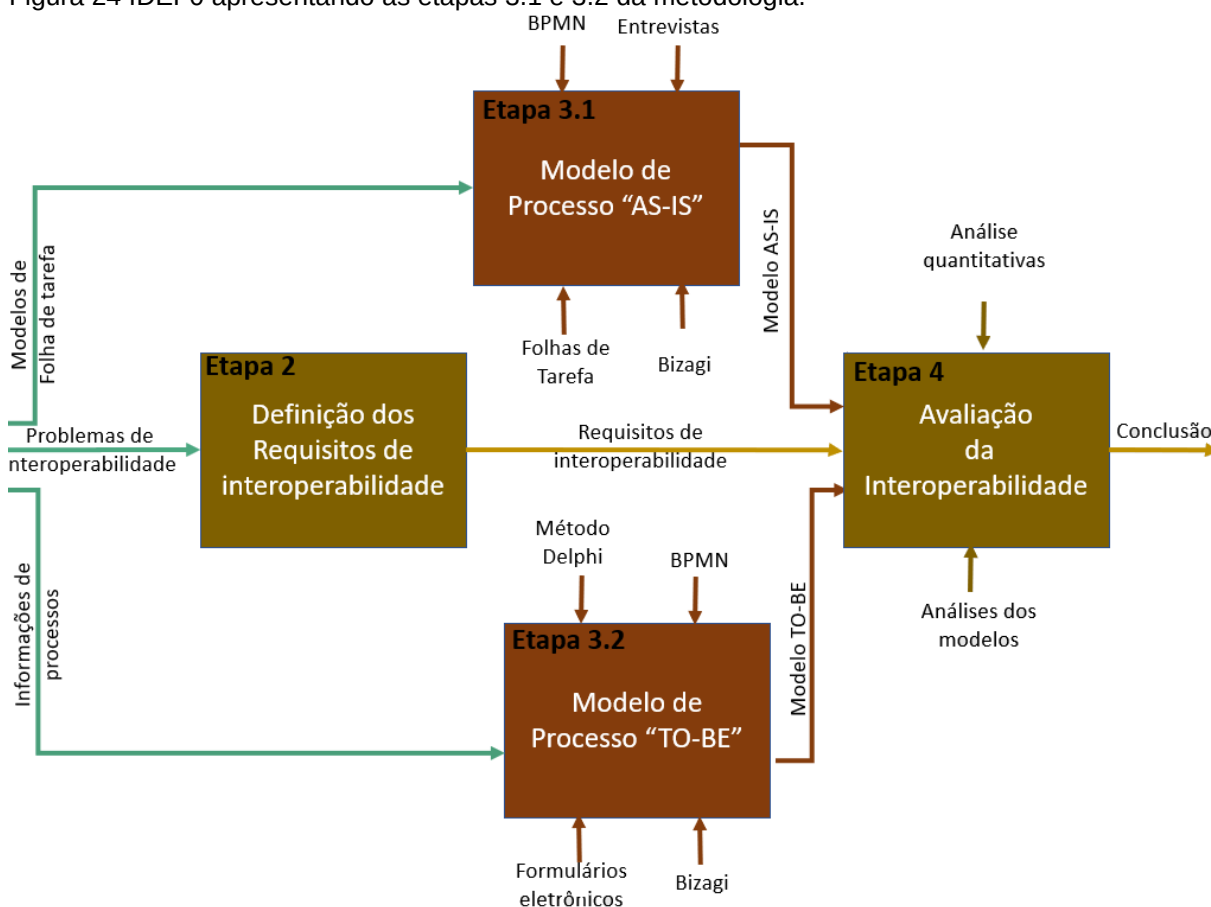


Fonte: O Autor, (2019).

5 DESENVOLVIMENTO

Neste capítulo serão realizados a modelagem dos processos do ciclo de vida de uma estrutura de concreto armado (projeto, construção, manutenção e demolição), por dois tipos perspectivas, AS-IS e TO-BE. Representam a etapa 3.1 e 3.2 da metodologia do trabalho apresentada no tópico 2.4 e 2.5 deste trabalho, cujo diagrama é apresentado em sua parte na Figura 24.

Figura 24 IDEF0 apresentando as etapas 3.1 e 3.2 da metodologia.



Fonte: O Autor, (2019).

O modelo de processo AS-IS, ou seja, "Como é", é a forma como as empresas atuantes no ciclo de vida de uma estrutura de concreto armado trabalham, porém não adotam o sistema BIM em seus processos de trabalho, ou seja, trabalham da forma tradicional.

O modelo de processo TO-BE, ou seja, "Como será", é a forma como os especialistas e profissionais trabalham ou entendem que seria o processo do ciclo de

vida de uma estrutura de concreto armado utilizando o BIM, sendo considerado um processo referencial para esse trabalho, afim de ter uma base para fazer a avaliação de interoperabilidade proposta.

As aplicações dos instrumentos para os mapeamentos dos dois processos propostos, seguirão a sequência determinada pelo capítulo 4, demonstrada pela Figura 25 e Figura 26.

5.1 MODELAGEM DO PROCESSO AS-IS

O primeiro passo para a modelagem dos processos AS-IS foi a elaboração das folhas de tarefa apresentadas no capítulo 4, seção 4.2. Com a finalização das folhas de tarefas (FT), foi iniciado as coletas de dados em junho de 2018. Conforme já mencionado, a metodologia de coleta de dados é amparada pela utilização das folhas de caracterização e folha de tarefas para a definição do processo.

Na sequência são entrevistados, com a utilização das FT's, individualmente os profissionais das empresas que atuam em cada uma das etapas do ciclo de vida de uma estrutura de concreto armado, para que estes definam quais as tarefas existem dentro do processo e qual a sequência das mesmas.

As empresas pesquisadas não autorizaram a revelação de suas razões sociais a fim de preservar sua privacidade. A seguir estão descritas as características das empresas que realizam trabalhos na área de projeto, construção, manutenção e demolição, sendo o principal escopo de cada uma na construção civil.

5.1.1 Processo AS-IS de Projeto

Com a utilização da FT de caracterização da empresa foram definidas as características da empresa de projeto analisada, conforme mostrado na Figura 25, essas informações foram obtidas em entrevista com a engenheira projetista que atua a 5 anos na empresa, sendo responsável pela elaboração de diversos projetos no decorrer desse tempo.

Figura 25 Caracterização da empresa de projetos.

Folha de Tarefa		Data: 06/06/2018	Folha N° 1
CARACTERIZAÇÃO DA EMPRESA			
Nome da Empresa:	• -----		
Ramo de Atividade: (Projeto, Construção, Manutenção, consultoria?)	• Projeto, Construção e Consultoria.		
N° de Empregados:	• 35.		
Disciplinas Envolvidas: (Função das pessoas envolvidas, arquiteto, engenheiro, mestre, encarregados e etc.)	• Engenheiro Civil. • Analista de Engenharia (desenhista).		
Nome do Processo: (Nome da atividade que será feita na empresa?)	• Elaboração de Projeto.		
Origem do Processo: (QUEM SOLICITOU O SERVIÇO?)	• Cliente/Proprietário.		
Destino do Processo: (DEPOIS DA DEMOLIÇÃO, VAI PARA ONDE O CONCRETO?)	• Obra.		

Fonte: O Autor, (2019).

A empresa representativa da fase de projetos, que forneceu informações para esse mapeamento é uma construtora cujo ramo de atividade é empreendimentos de pequeno a grande porte no setor elétrico. Atua a mais de 10 anos fornecendo projeto, construção e consultoria para estruturas de concreto armado para fundações, pórticos e edificações para subestações e parques eólicos. A quantidade de funcionários atualmente é de 35, sendo que as funções das pessoas envolvidas com o projeto é a de Engenheiros Cíveis e Analistas de Engenharia (desenhistas).

O processo de projeto é iniciado com o contato do cliente com a empresa e é finalizado com a entrega dos projetos estruturais para o início da obra.

No último item da FT de caracterização da empresa é perguntado para o entrevistado quais tarefas compõe o processo de projeto dentro da empresa. O processo foi então descrito, primeiramente recebe-se do cliente os projetos

arquitetônicos, essa etapa se caracteriza pela análise de todas as pranchas com o objetivo de levantar informações que possam interferir no lançamento da estrutura. Após a análise das pranchas é sempre realizado uma visita no local de obra, cuja principal função é o levantamento de informações como interferências na edificação, limites do terreno e fornecimento de insumos.

Após caracterizado o local de obra, é escolhido um modelo estrutural (o modelo em questão é concreto armado moldado *in loco*), no qual é solicitado sondagens do terreno, com o objetivo de se obter informações de resistência e do tipo de solo onde se encontrará a edificação. Após as etapas de definição e caracterização do solo é feito um pré-dimensionamento que visa obter as posições dos elementos estruturais e possíveis interferências com o arquitetônico. Caso não seja constatado nenhuma interferência, são iniciados os cálculos definitivos.

O cálculo estrutural é dividido em estrutura dos pórticos e fundações. Uma característica dessa empresa é que o cálculo dos pórticos e das fundações é realizado pelo mesmo engenheiro projetista. Após realização do cálculo é emitido um memorial de cálculo e encaminhado ao analista de engenharia, que é responsável por desenhar e detalhar os projetos.

Ao terminar os desenhos e os detalhamentos, o analista de engenharia encaminha os projetos ao projetista, no qual o mesmo faz a conferência e aprovação para que o analista faça a emissão dos projetos executivos e encaminhe para a obra.

O resultado dessa descrição de tarefas do processo de projeto é indicado na Figura 26, onde é possível identificar 9 tarefas principais elencadas pela engenheira na entrevista.

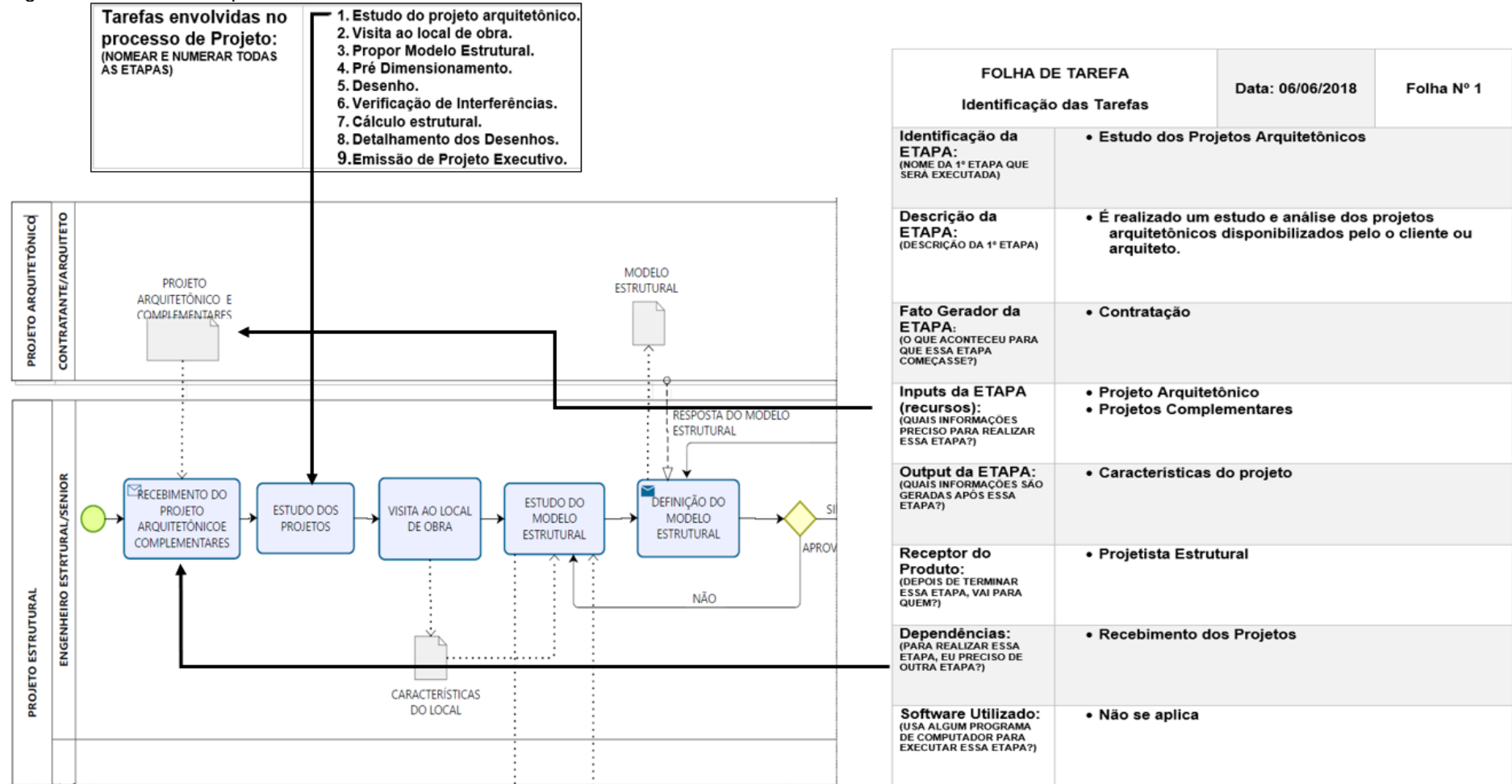
Figura 26 Tarefas envolvidas na atividade de projetos.

Tarefas envolvidas no processo de Projeto: (NOMEAR E NUMERAR TODAS AS ETAPAS)	1. Estudo do projeto arquitetônico. 2. Visita ao local de obra. 3. Propor Modelo Estrutural. 4. Pré Dimensionamento. 5. Desenho. 6. Verificação de Interferências. 7. Cálculo estrutural. 8. Detalhamento dos Desenhos. 9. Emissão de Projeto Executivo.
---	--

Fonte: O Autor, (2019).

Com esse resultado, foi montado uma folha de tarefa para cada uma das tarefas mostradas na Figura 27, amparando o mapeamento e modelagem de forma mais eficiente o processo descrito.

Figura 27 Forma de mapeamento adotado.



Fonte: O Autor, (2019).

No apêndice A estão as folhas de tarefas com todas as informações coletadas através da entrevista com a engenheira projetista responsável pelo os projetos civis da empresa estudada. O processo completo está modelado no Apêndice E deste trabalho.

5.1.2 Processo AS-IS de Construção

Com a utilização da FT de caracterização da empresa, foram definidas as características da empresa de construção analisada, conforme mostrado na Figura 28. As informações necessárias para o mapeamento foram levantadas através de uma entrevista com o engenheiro civil residente de uma das obras da construtora.

Figura 28 FT de caracterização de empresa preenchida pela empresa de construção.

FOLHA DE TAREFA CARACTERIZAÇÃO DA EMPRESA		Data: 08/06/2018	Folha Nº 1
Nome da Empresa:	• -----		
Ramo de Atividade: (Projeto, Construção, Manutenção, consultoria?)	• Construção e Incorporadora.		
Nº de Empregados:	• Aproximadamente 5 mil entre funcionários e terceirizados no Brasil. • Em obra 50 da construtora e 75 terceirizados.		
Disciplinas Envolvidas: (Função das pessoas envolvidas, arquiteto, engenheiro, mestre, encarregados e etc.)	• Engenheiro Civil. • Mestre de Obras. • Carpinteiros. • Pedreiros/Servente. • Armadores.		
Nome do Processo: (Nome da atividade que será feita na empresa?)	• Execução de Estruturas de Concreto armado.		
Origem do Processo:	• Fase de projetos. • Cliente/Proprietário.		
Destino do Processo:	• Cliente/Proprietário.		

Fonte: O Autor, (2019).

A empresa representativa da fase de construção, que forneceu as informações para esse mapeamento, é uma construtora e incorporadora de grande porte, sua área de atuação é a de construção de residências de médio e alto padrão, utilizando o concreto armado como estrutura. A mesma está no ramo há mais de 10 anos e possui um acervo de mais de 200 mil residências. A quantidade de funcionários é de aproximadamente 5 mil, em todo o Brasil, entre registrados e terceirizados. Na obra que o engenheiro entrevistado é residente possui 50 funcionários e 75 terceirizados, sendo compostos por Engenheiro civis, mestre de obras, carpinteiros, armadores, pedreiros e serventes.

O processo de construção é iniciado com a finalização dos projetos estruturais e com a contratação por parte do cliente, o destino da estrutura é o cliente ou proprietário.

No último item da FT de caracterização da empresa é perguntado para o entrevistado quais tarefas compõe o processo de construção dentro da empresa, com essas informações o processo foi descrito. O recebimento dos projetos executivos (arquitetônicos, formas, cimbramento, armação e memorial descritivo) é realizado pela engenharia de obra. O engenheiro residente é responsável por fazer a análise do método executivo e levantamento de quantitativos (aço, concreto, formas e cimbramento). Após realizar os levantamentos, as necessidades são repassadas ao setor de suprimentos que é responsável em fazer a aquisição destes materiais.

Ao se determinar o método executivo, o engenheiro residente transmite informações importantes ao mestre de obras, pois é ele o responsável por gerir a equipe de campo necessária para a execução de concreto armado moldado *in loco*, composta por serventes, pedreiros, armadores e carpinteiros.

Após a chegada dos materiais utilizados na execução, inicia-se a montagem de fôrmas e cimbramentos. Durante a execução destas é realizada a montagem da armadura pelos armadores, essas tarefas são executadas em paralelo. Ao terminar as etapas de montagem de fôrmas, armação e cimbramento é solicitado a presença do engenheiro responsável técnico, para que ele aprove os serviços executados anteriormente. A aprovação se caracteriza por uma inspeção visual e conferência de projetos; se aprovado pelo o engenheiro residente é repassado para a equipe de concretagem que será responsável pela a próxima etapa.

A concretagem é feita por uma equipe composta de pedreiros e serventes, e a sua execução deve ser sempre acompanhada pelo o engenheiro, para que o mesmo

possa realizar as inspeções visuais do concreto, de qualidade e verificar se está de acordo ao exigido em projeto.

Como estabelece a norma NBR 14931 (ABNT, 2004), o concreto deve passar por um processo de cura até que atinja a resistência adequada, esta etapa se inicia depois da concretagem. Após os ciclos de cura, inicia-se a desforma e retirada do cimbramento, sendo complementada por uma vistoria da estrutura, que passa por uma aprovação da parte técnica. Caso a estrutura não seja aprovada é informado ao engenheiro projetista para realizar intervenções, caso contrário é entregue a estrutura.

O resultado dessa descrição de tarefas do processo de construção é demonstrado na Figura 29. Nela é possível identificar 11 tarefas principais elencadas pelo engenheiro na entrevista.

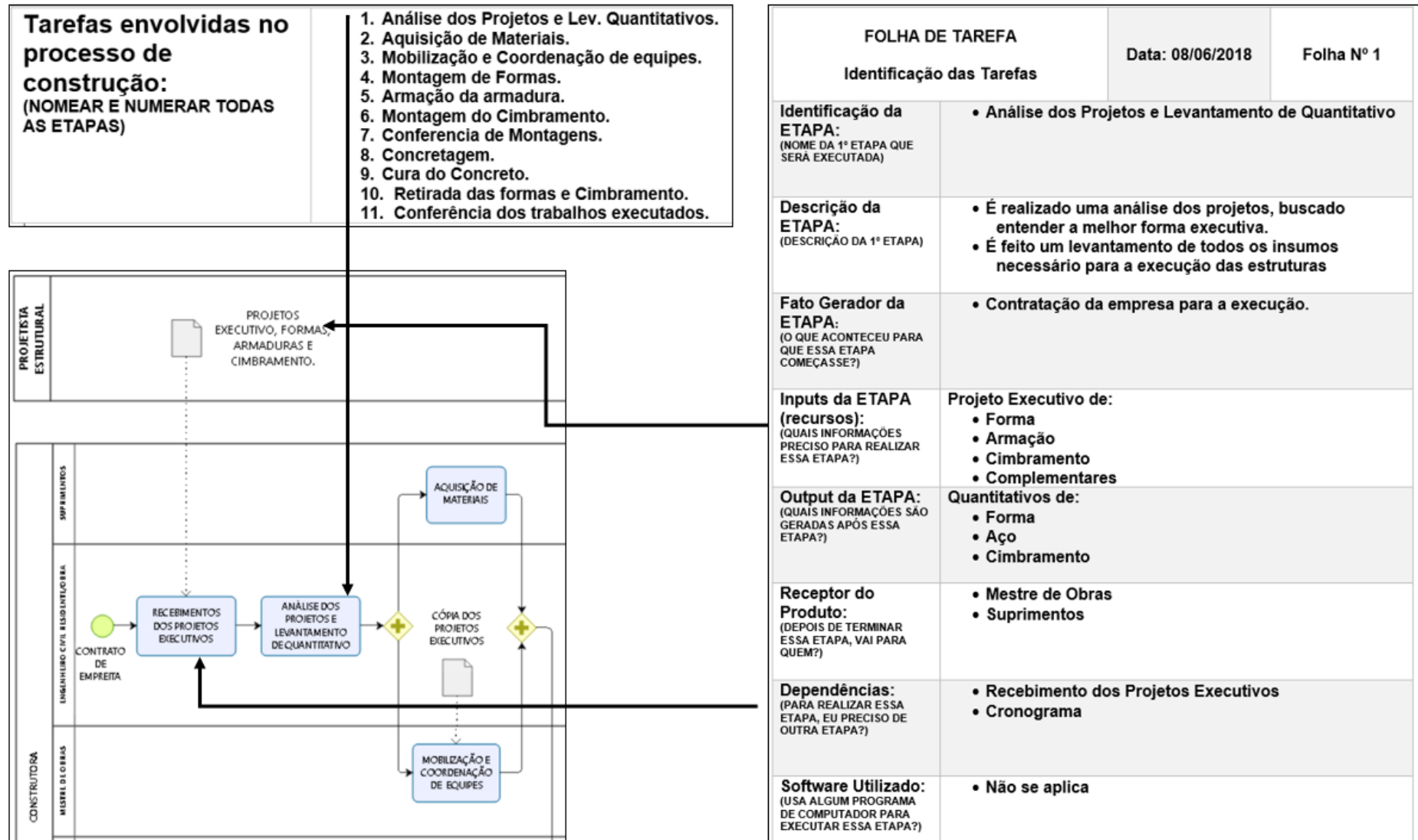
Figura 29 Tarefas envolvidas na atividade de construção.

Tarefas envolvidas no processo de construção: (NOMEAR E NUMERAR TODAS AS ETAPAS)	1. Análise dos Projetos e Lev. Quantitativos. 2. Aquisição de Materiais. 3. Mobilização e Coordenação de equipes. 4. Montagem de Formas. 5. Armação da armadura. 6. Montagem do Cimbramento. 7. Conferencia de Montagens. 8. Concretagem. 9. Cura do Concreto. 10. Retirada das formas e Cimbramento. 11. Conferência dos trabalhos executados.
--	---

Fonte: O Autor, (2019).

Com esse resultado, foi montado uma FT para cada uma das tarefas mostradas na Figura 30, mapeando de forma mais eficiente o processo descrito.

Figura 30 Tarefas envolvidas na atividade de construção.



Fonte: O Autor, (2019).

No apêndice B estão descritas as etapas seguidas pela empresa de construção e o mapeamento está representado no apêndice E, de acordo com as informações obtidas com a entrevista.

5.1.3 Processo AS-IS de Manutenção e Operação

Com a utilização da FT de caracterização da empresa foram definidas as características da empresa de manutenção analisada, conforme mostrado na Figura 31. As informações necessárias para o mapeamento foram levantadas através de uma entrevista engenheiro civil responsável e proprietário da empresa, a qual existe a 35 anos.

Figura 31 Folha de caracterização da empresa de manutenção.

FOLHA DE TAREFA CARACTERIZAÇÃO DA EMPRESA		Data: 04/06/2018	Nº Folha 1
Nome da Empresa:	• -----		
Ramo de Atividade: (Projeto, Construção, Manutenção, consultoria?)	• Consultoria e Tecnologia.		
Nº de Empregados:	• 11.		
Disciplinas Envolvidas: (Função das pessoas envolvidas, arquiteto, engenheiro, mestre, encarregados e etc.)	• Engenheiros Cíveis. • Técnicos de Laboratório. • Serventes. • Pedreiros.		
Nome do Processo: (Nome da atividade que será feita na empresa?)	• Manutenção.		
Origem do Processo: (QUEM SOLICITOU O SERVIÇO?)	• Operação.		
Destino do Processo:	• Demolição.		

Fonte: O Autor, (2019).

A empresa representativa da fase de manutenção, que forneceu as informações para esse mapeamento presta consultoria e análises laboratoriais, cujo ramo de atividade é a gestão tecnológica da qualidade em obras de edificações, bem como em concreto armado, materiais, componentes de construção e patologias. Essa empresa está há 35 anos na área de manutenção, sendo que em seu portfólio encontram-se cinco grandes obras (Refinaria Getúlio Vargas – REPAR, Sede da Prefeitura municipal de Curitiba, Tribunal de Justiça do Paraná, Prédio das Secretarias do Estado e Sanepar) com objetivo de fornecer diagnóstico e recuperação estrutural. Hoje a empresa possui 11 funcionários em seu corpo técnico, sendo este composto por engenheiro civis, técnicos de laboratório, serventes e pedreiro.

A origem do processo de manutenção é a operação da estrutura e o término deste processo é a demolição, ou seja, durante toda a operação, a fase de manutenção está presente.

No último item da FT de caracterização da empresa são perguntadas para o entrevistado quais tarefas compõe o processo de projeto manutenção da empresa. Então foi descrito o processo. O recebimento da estrutura se caracteriza na entrega feita pela construtora ao proprietário no término da obra. Esse recebimento é acompanhado pelo manual do proprietário, como estabelece o Código Civil (2002). Com uso da edificação no decorrer do tempo, deve-se atentar para os programas de manutenção estabelecidos no manual do proprietário.

Após o início do ciclo de manutenção estabelecido no manual do proprietário, o responsável pela edificação faz contato com uma empresa especializada em manutenção estrutural solicitando que seja realizada uma inspeção e verificação da estrutura. Durante a vistoria de inspeção a empresa de manutenção faz a solicitação de documentos relativos à estrutura de concreto armado no qual, junto do manual do proprietário, é feito um parecer técnico e entregue para o proprietário e ou responsável pela a edificação.

Após o recebimento do parecer técnico da empresa, o proprietário e ou responsável deve concluir se opta pela manutenção ou demolição da estrutura. Se optar por demolição, deve-se contratar uma empresa especializada na área e, caso ocorra a escolha pelas manutenções, as etapas são compreendidas por ensaios, análises laboratoriais e elaboração de projetos de recuperação ou manutenção, todas são documentadas e disponibilizadas para o proprietário.

Após a elaboração dos projetos, é realizado a execução dos mesmos e durante toda a execução é imprescindível o acompanhamento de um responsável técnico (Engenheiro Civil). Após a execução, é realizado uma inspeção final do trabalho realizado e é elaborado um relatório técnico final no qual é entregue ao proprietário. Após o relatório técnico final, a empresa de manutenção emite um novo manual com novos ciclos de manutenção no qual deve ser respeitado para que exista um bom desempenho estrutural.

Caso não haja mais ciclos de manutenção ou opte-se não por realizar mais as manutenções, a estrutura passa para um novo estágio do ciclo de vida, que é a demolição.

O resultado dessa descrição de tarefas do processo de manutenção é demonstrado na Figura 32, onde é possível identificar 8 tarefas principais elencadas pelo engenheiro na entrevista.

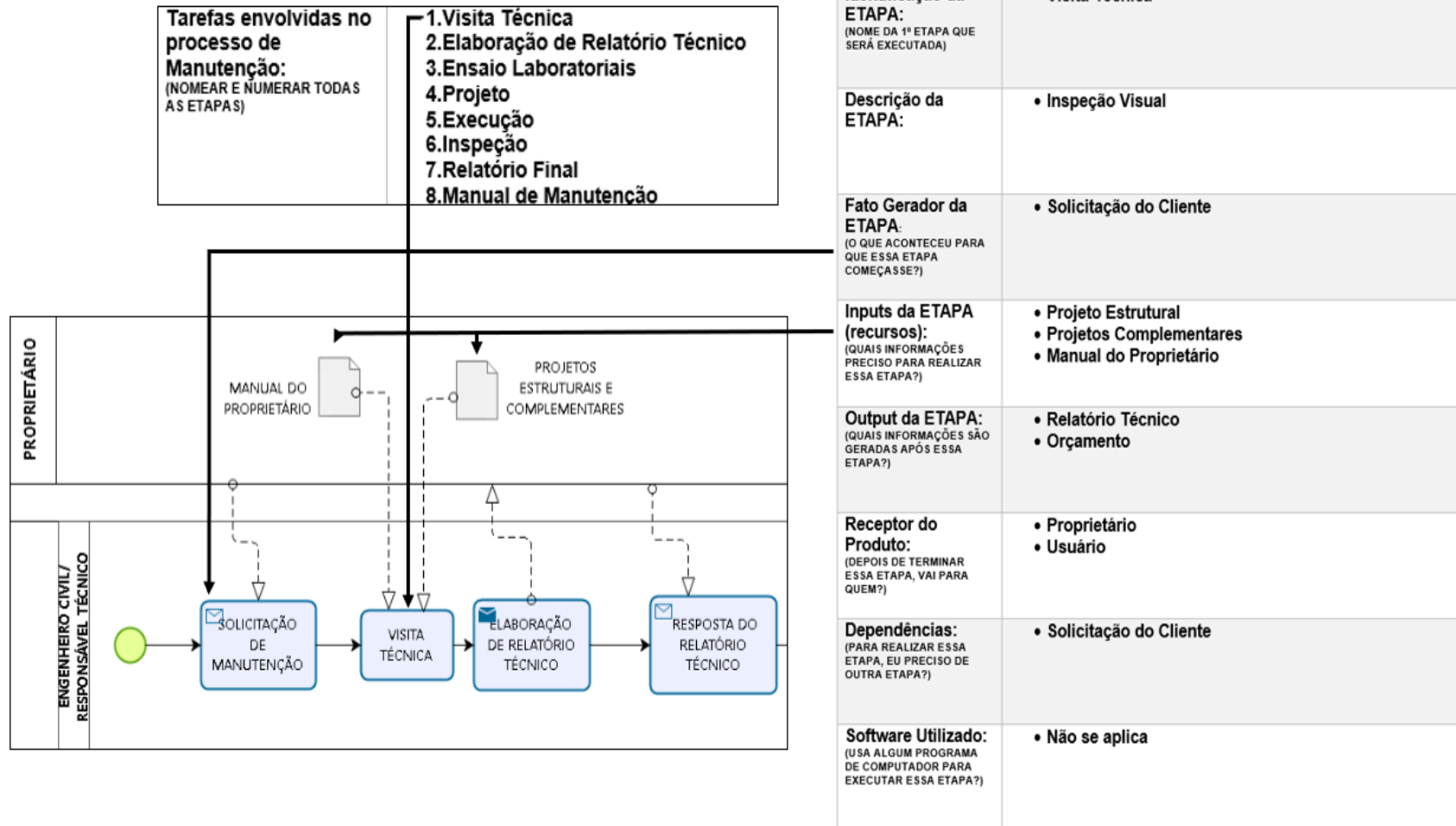
Figura 32 Tarefas identificadas com a descrição do processo de manutenção.

Tarefas envolvidas no processo de Manutenção: (NOMEAR E NUMERAR TODAS AS ETAPAS)	1.Visita Técnica 2.Elaboração de Relatório Técnico 3.Ensaio Laboratoriais 4.Projeto 5.Execução 6.Inspeção 7.Relatório Final 8.Manual de Manutenção
--	---

Fonte: O Autor, (2019).

Com esse resultado, foi montado uma FT para cada uma das tarefas mostradas na Figura 33, para pode mapear de forma mais eficiente o processo descrito.

Figura 33 Melhoria da modelagem do processo com a utilização das FT's.



Fonte: O Autor, (2019).

O Apêndice C traz todas as informações retiradas pela a entrevista e o Apêndice E representa graficamente o processo com as principais tarefas relacionadas à manutenção de estruturas de concreto armado.

5.1.4 Processo AS-IS de Demolição

Com a utilização da FT de caracterização da empresa foram definidas as características da empresa de demolição analisada, conforme mostrado na Figura 34. As informações necessárias para o mapeamento foram levantadas através de uma entrevista engenheiro civil responsável que está a 7 anos atuando na empresa.

Figura 34 Tarefas identificadas com a descrição do processo de manutenção.

FOLHA DE TAREFA		Data: 05/06/2018	Nº Folha 1
Caracterização da Empresa			
Nome da Empresa:	• -----		
Ramo de Atividade: (Projeto, Construção, Manutenção, consultoria?)	• Demolições/ terraplanagem e construção		
Nº de Empregados:	• 35		
Disciplinas Envolvidas: (Função das pessoas envolvidas, arquiteto, engenheiro, mestre, encarregados e etc.)	• Engenheiro Civil • Engenheiro Ambiental • Técnico de Segurança do Trabalho • Mestre de Obra • Operadores de Máquinas • Aux administrativos • Serventes.		
Nome do Processo: (Nome da atividade que será feita na empresa?)	• Demolição de Estruturas de Concreto		
Origem do Processo: (QUEM SOLICITOU O SERVIÇO?)	• Solicitação do cliente que deseja utilizar o terreno.		
Destino do Processo: (DEPOIS DA DEMOLIÇÃO, VAI PARA ONDE O CONCRETO?)	• Reciclagem • Aterro de resíduos		

Fonte: O Autor, (2019).

A empresa representativa da fase de demolição, que forneceu as informações para esse mapeamento é uma empresa de demolição que também realiza serviços de terraplanagem e construção, mas sendo o seu ramo principal a demolição. A empresa trabalha com diversas técnicas de demolição, entre elas a demolição mecanizada, manual, controlada, alto risco e desmontagem industrial.

A quantidade de funcionários atuantes na empresa é de 35 e existem as funções de engenheiro civil, engenheiro ambiental, técnico de segurança do trabalho, mestre de obras, operador de máquinas, auxiliar administrativo e serventes.

O processo de demolição é iniciado com a finalização da operação da estrutura e com a contratação por parte do cliente e o destino da estrutura é a reciclagem ou aterro.

No último item da FT de caracterização da empresa é perguntado para o entrevistado quais tarefas compõe o processo de demolição dentro da empresa. Então foi descrito o processo. O recebimento do pedido de demolição se caracteriza sempre pelo o contato do cliente, que pode se tratar de uma construtora, órgão público ou até mesmo uma pessoa física. Todos (clientes) têm em comum a necessidade de disponibilizar uma área existente para um projeto futuro.

Após o contato do cliente, uma empresa de demolição especializada no assunto faz visitas técnicas no local em que será feito a demolição. Essa visita tem como objetivo caracterizar toda a estrutura, seus componentes estruturais, materiais utilizados, suas instalações, dimensões e também amostra de material da estrutura. A retirada de corpo de prova da estrutura tem uma enorme importância e serve para conhecer a resistência dos materiais existentes, pois geralmente são prédios antigos ou prédios que podem estar condenados, o que pode interferir diretamente na metodologia executiva.

Após a elaboração do laudo técnico é apresentado ao cliente um estudo de viabilidade econômica com diversas metodologias de demolição que a empresa oferece e fica a cargo do cliente decidir, pois cada metodologia interfere diretamente no tempo de demolição.

Com a aprovação do cliente são realizadas vistorias nas edificações que aferem o perímetro da região da demolição. O objetivo dessa etapa é caracterizar todas informações das edificações – processo conhecido como “Ad Perpetuam Rei Memoriam”, que tem por finalidade respaldar a empresa caso ocorra alguma reclamação de danos nas edificações vizinhas. Por se tratar de demolição, no qual é

um serviço que tem um grau elevado de periculosidade, tanto para o operário quanto as pessoas que vivem na região (seja ela as suas vidas ou as suas edificações), é necessária a contratação de seguros.

Após todos os trâmites administrativos e aprovações de alvarás, é dado início a mobilização de equipes e maquinários, sendo que a sua quantidade tem relação direta com o tamanho da edificação. Não se faz necessário a mobilização completa de toda a equipe de demolição no início dos trabalhos, pois antes da demolição é feita uma desmontagem da estrutura. Neste processo de retirada, materiais muitas vezes podem ser reaproveitados como cobertura e esquadrias ou pode ser reciclado como a fiação para o aproveitamento do cobre.

Na sequência da etapa de desmontagem é feita a demolição. De acordo com o método escolhido - seja demolição manual ou mecanizada e sempre durante a demolição, o processo é acompanhado por um engenheiro ambiental ou técnico ambiental responsável, para que se possa dar destino aos resíduos da demolição.

O resultado dessa descrição de tarefas do processo de manutenção é demonstrado na Figura 35. Nela é possível identificar 9 tarefas principais elencadas pelo engenheiro na entrevista.

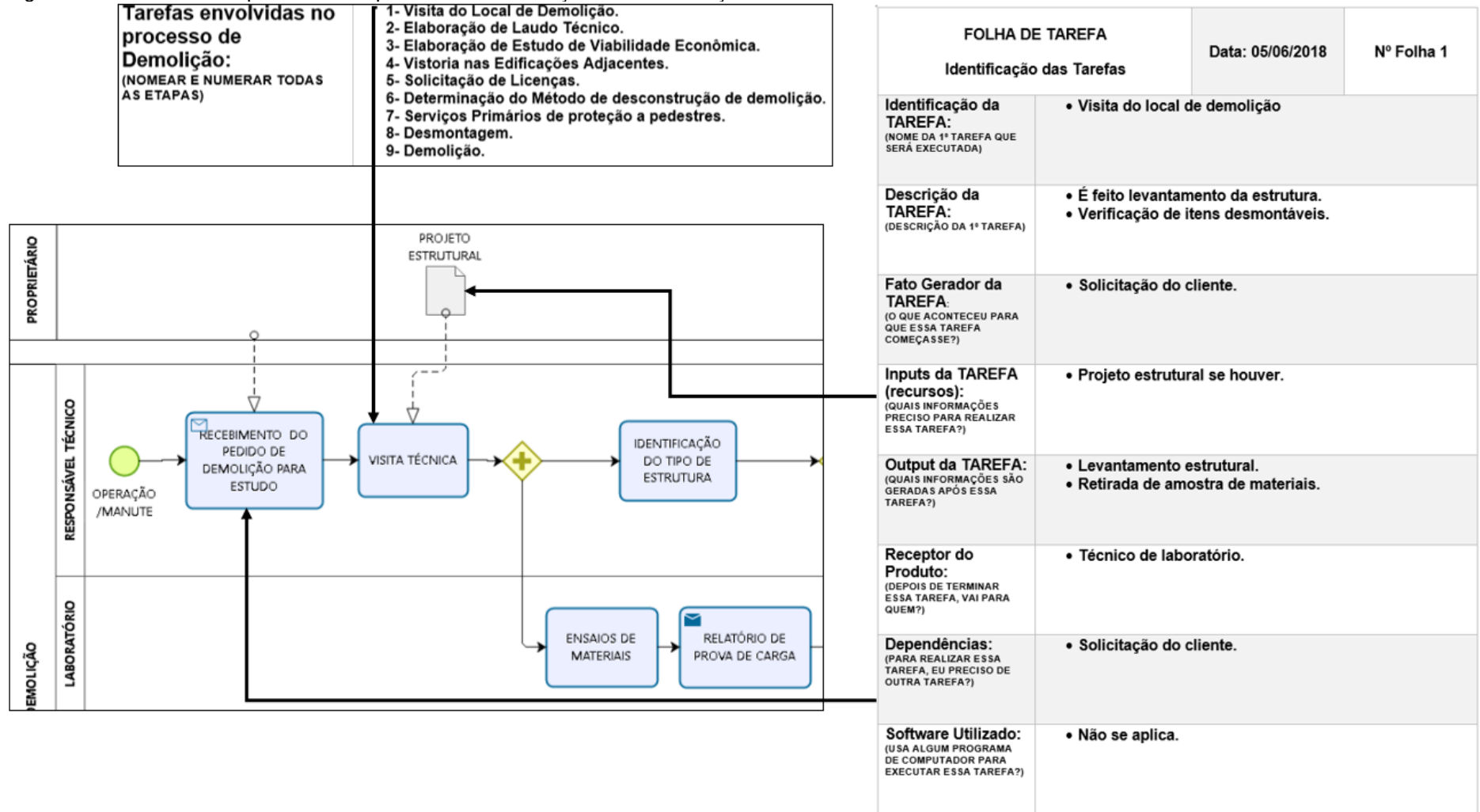
Figura 35 Tarefas identificadas com a descrição do processo de demolição.

Tarefas envolvidas no processo de Demolição: (NOMEAR E NUMERAR TODAS AS ETAPAS)	1- Visita do Local de Demolição. 2- Elaboração de Laudo Técnico. 3- Elaboração de Estudo de Viabilidade Econômica. 4- Vistoria nas Edificações Adjacentes. 5- Solicitação de Licenças. 6- Determinação do Método de desconstrução de demolição. 7- Serviços Primários de proteção a pedestres. 8- Desmontagem. 9- Demolição.
---	--

Fonte O Autor, (2019).

Com esse resultado, foi montado uma FT para cada uma das tarefas mostradas na Figura 36, para poder mapear de forma mais eficiente o processo descrito.

Figura 36 Melhoria do mapeamento de processo de demolição com a utilização da as FT



Fonte: O Autor, (2019).

O Apêndice D traz todas as informações retiradas pela a entrevista e o Apêndice E representa graficamente o processo com as principais tarefas relacionadas à manutenção de estruturas de concreto armado.

5.1.5 Considerações finais da pesquisa AS-IS

Estas entrevistas tiveram o propósito de mapear e entender todas tarefas que compões as etapas de projeto, construção, manutenção e demolição, utilizando as folhas de tarefas como ferramenta de mapeamento e a notação BPMN para expor graficamente os resultados das entrevistas.

Não foi escolhido um padrão de tamanho de empresa para as entrevistas, e sim pela disponibilidade das empresas em conceder entrevistas. Conforme apresentado pelo Quadro 5, através da classificação fornecida pelo Sebrae (2012), é possível ver que as entrevistas foram realizadas desde uma empresa Micro (Manutenção) até Grande (Construção).

Quadro 5 Classificação das empresas entrevistadas

Empresa	Funcionários	Classificação (Sebrae, 2013)
Projeto	35	Pequena
Construção	5000	Grande
Manutenção	11	Micro
Demolição	35	Pequena

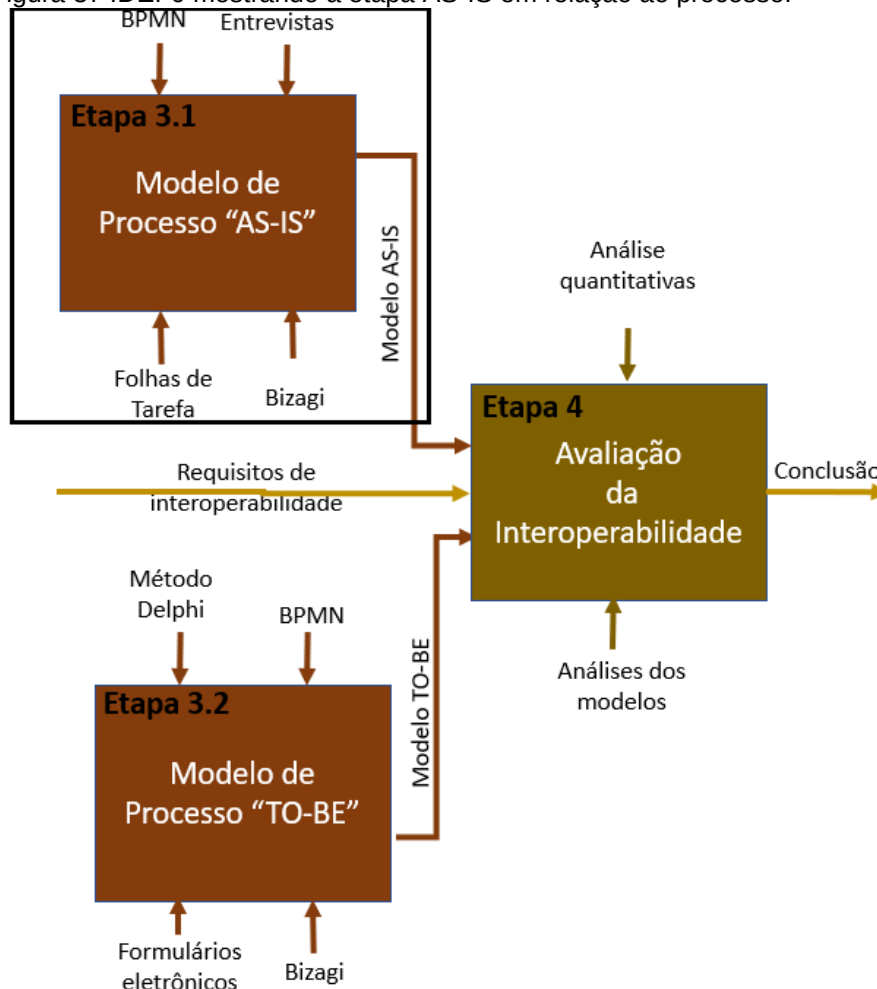
Fonte: SEBRAE, (2013)

Esse mapeamento não teve como objetivo de propor um padrão de processo para o ciclo de vida que atenda todos os tamanhos de empresas, mas sim fornecer um diagnóstico de como algumas empresas participantes do ciclo de vida de uma estrutura de concreto armado trabalham. A metodologia, entretanto, pode ser replicada para qualquer empresa do ciclo, não importando seu tamanho.

O esforço para modelar esses processos vislumbra, além da obtenção de conhecimento importante sobre o setor e seu diagnóstico, suportar a avaliação da interoperabilidade sob a perspectiva atual (AS-IS) e futura considerando o uso do BIM (TO-BE). Conforme mostrado no diagrama IDEF0 da Figura 37 a conclusão da

modelagem dos processos AS-IS (Etapa 3.1), cumpre o objetivo específico ii deste trabalho. O próximo tópico então será modelado os processos TO-BE.

Figura 37 IDEF0 mostrando a etapa AS-IS em relação ao processo.

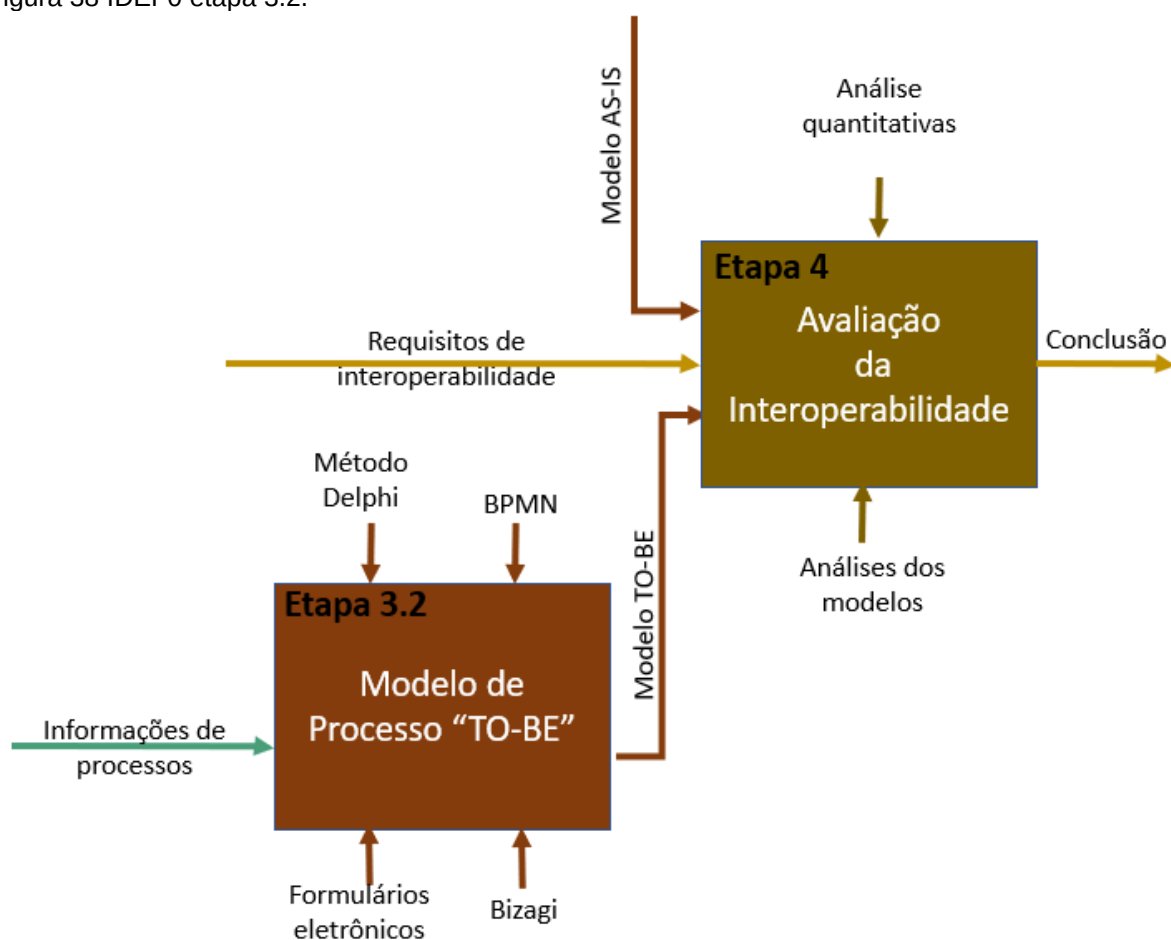


Fonte: O Autor (2019).

5.2 MODELAGEM DO PROCESSO TO-BE

Neste tópico será mapeado e modelado os processos do ciclo de vida de uma estrutura de concreto armado TO-BE, ou seja, com a utilização de BIM em todas as fases do ciclo de vida. Conforme apresentada na Figura 38, após essa modelagem será feita, a avaliação da interoperabilidade com os requisitos de apresentados nos tópicos: 3.6, 3.7, 3.8 e 3.9.

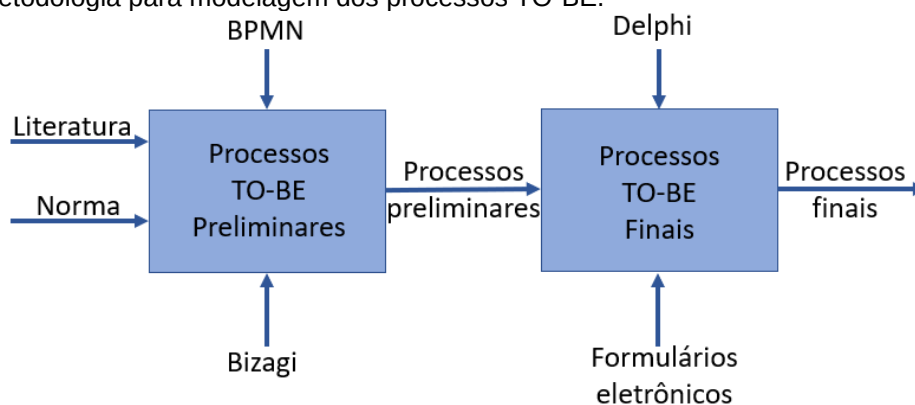
Figura 38 IDEF0 etapa 3.2.



Fonte: O Autor, (2019).

A metodologia para o mapeamento e modelagem dos processos TO-BE está apresentada no diagrama da Figura 39. São criados modelos preliminares de cada uma das etapas do ciclo de vida, para que esses processos possam ser avaliados e modificados por especialistas da área com a utilização do método Delphi.

Figura 39 Metodologia para modelagem dos processos TO-BE.



Fonte: O Autor, (2019).

5.2.1 Modelagem dos Processos Preliminares

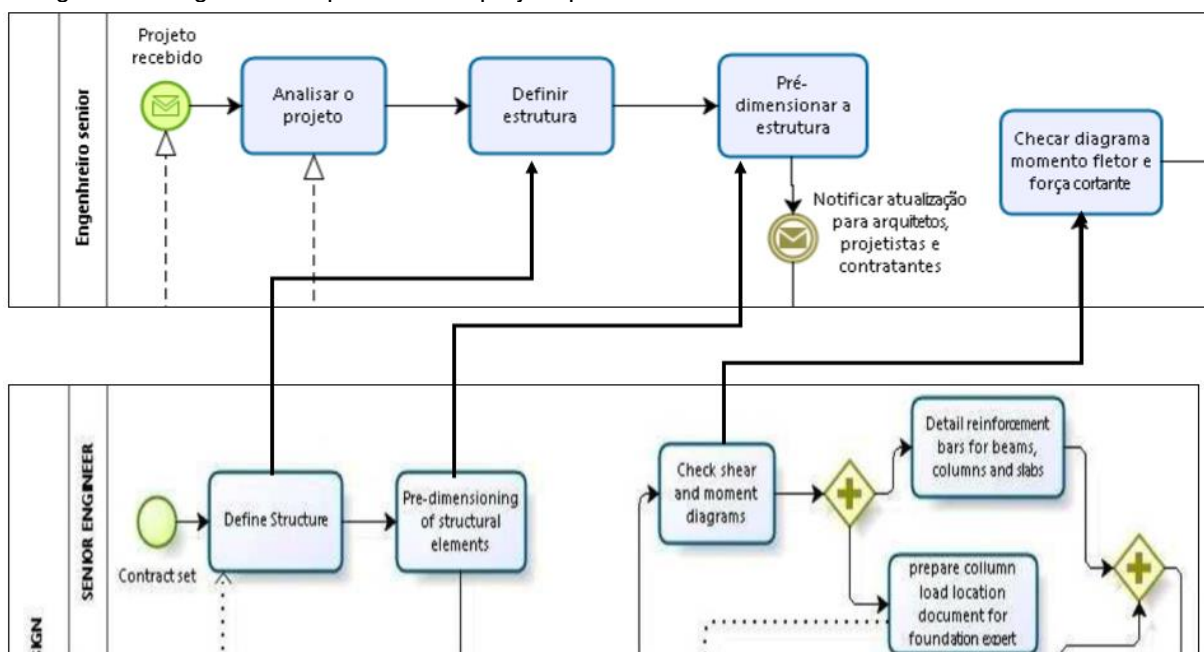
Como mencionado no tópico anterior, a primeira etapa para a modelagem dos processos TO-BE é a criação de modelos preliminares que possuem base no referencial teórico previamente apresentado no capítulo 3 deste trabalho.

Nesta etapa a função é fornecer um processo base. Os resultados preliminares desenvolvidos são enviados para profissionais e especialistas, para que eles possam realizar alterações que forem necessárias e aprimorar as propostas de modelos de processos levantados. Neste caso, como este processo preliminar será validado, não é necessário que este esteja tão apurado. Além de que como a avaliação da interoperabilidade de processo apoia-se no grau de detalhamento dos processos, nessa etapa são apresentados de forma mais simplificada possível, para que os entrevistados possam então os detalhar melhor.

5.2.1.1 Processo Preliminar de Projeto

Para o processo preliminar da fase de projetos, foi utilizado o processo definido por Muller et al. (2017), conforme apresentado o fragmento de processo na Figura 40. É possível notar que várias tarefas foram retiradas do modelo proposto, sendo incrementado pelos outros autores citados no tópico 3.2.2.

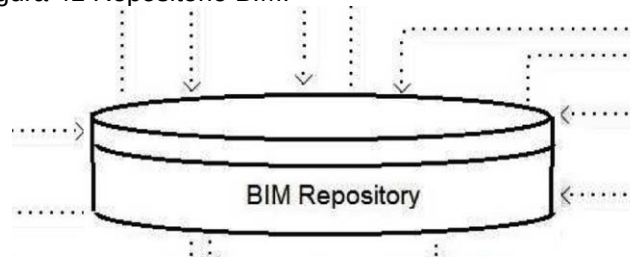
Figura 40 Fragmento de processo de projeto preliminar.



Fonte: Adaptado de Muller et al, (2017).

Um dos pontos de processo de projeto de Muller et al. (2017), mostrado na Figura 41, que será utilizado em todos os processos preliminares do ciclo de vida, é a representação de um repositório BIM que concentra todas as informações do processo. Esse processo completo está dentro do Apêndice F.

Figura 41 Repositório BIM.



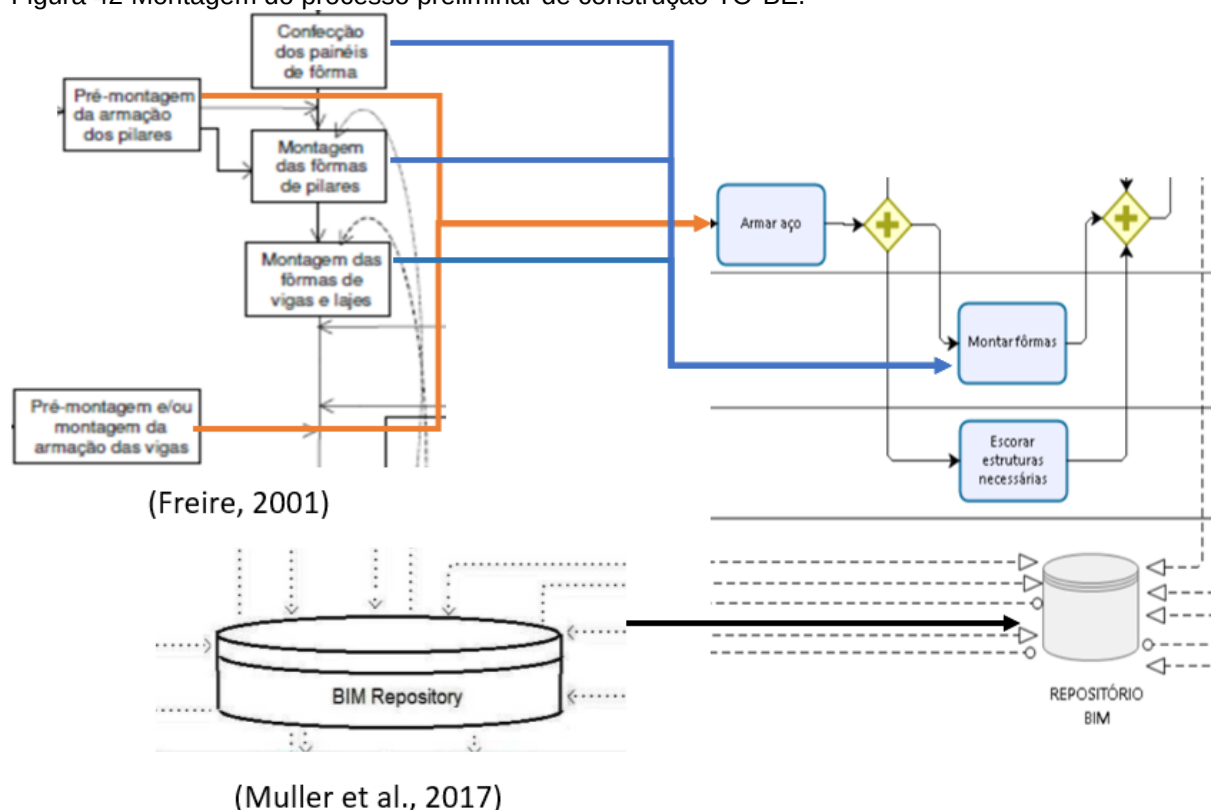
Fonte: Adaptado de Muller et al, (2017).

5.2.1.2 Processo Preliminar de Construção

O processo de construção é baseado no modelo de Freire (2001) e adaptado pelos autores da revisão da literatura, conforme é mostrado no fragmento de processo na Figura 42. Alguns processos foram retirados do modelo proposto por Freire (2001)

e foi utilizado a representação do repositório BIM, conforme Muller et al. (2017), dentro do processo de construção também. Como já mencionado, um dos requisitos desse trabalho é o grau de detalhamento do processo, sendo que essa etapa de processo preliminar vai se restringir as tarefas mais básicas, para que não influencie na pesquisa. Por esta razão foram juntadas algumas tarefas que Freire (2001) propôs para apenas uma e de forma genérica. Esse processo completo está no Apêndice F.

Figura 42 Montagem do processo preliminar de construção TO-BE.



Fonte: Adaptado de Muller et al., (2017) e Freire, (2001).

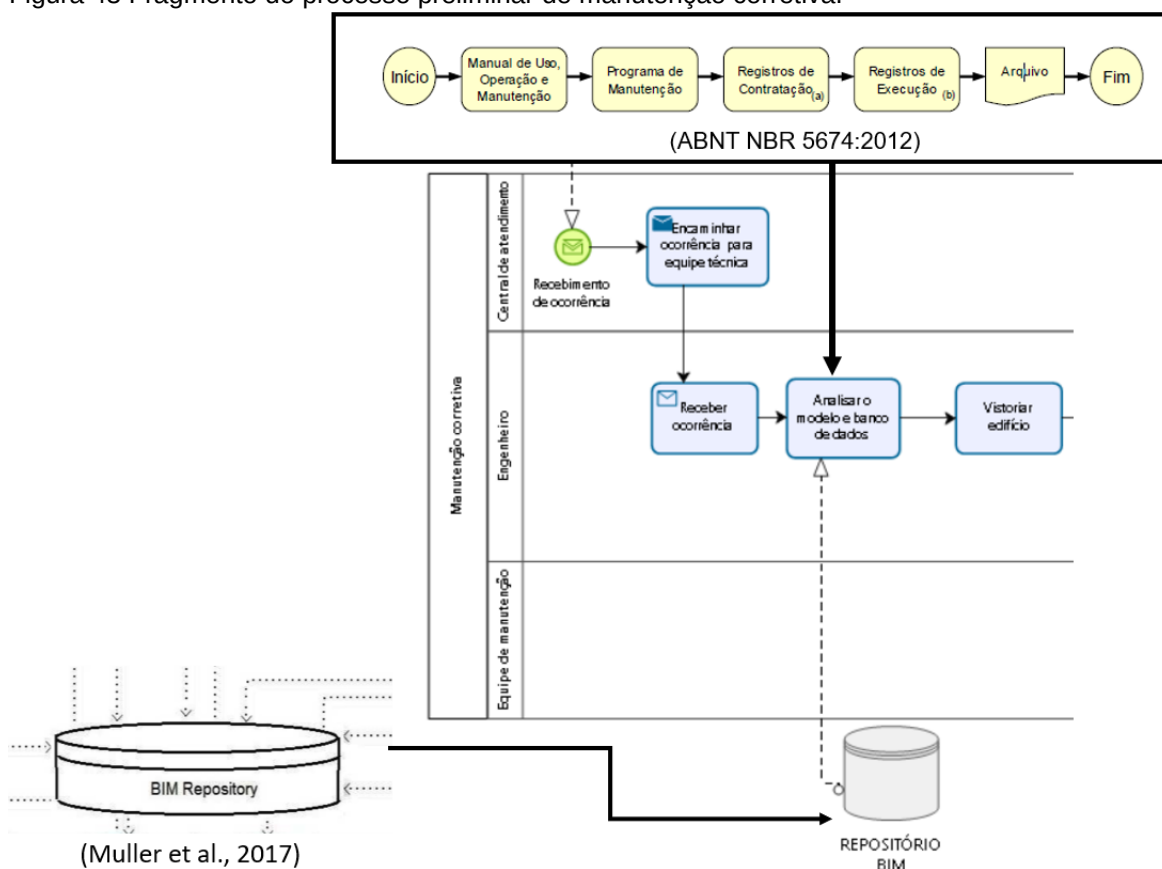
5.2.1.3 Processo Preliminar de Manutenção

Para a definição do processo preliminar de manutenção em BIM, encontrou-se a existência de mais de um tipo de manutenção. Como foi retratado na seção 3.2.4 deste documento, no setor da construção civil pode-se encontrar dois tipos diferentes de manutenção: preventiva e corretiva. Dado que os dois sequenciamentos de atividades exigem diferentes entradas de informações e não decorrem linearmente no mesmo tempo de execução, para maior facilidade de representação e melhor compreensão para quem lerá os processos, a fase de manutenção em BIM para

estruturas de concreto armado foi reproduzida em dois modelos que demonstram cada tipo de manutenção.

O processo de manutenção corretiva preliminar em BIM, baseou-se na norma de manutenção NBR 5674 (ABNT, 2012), conforme mostrado na Figura 43. Com a utilização do BIM, é possível obter com muito mais facilidade todas as informações que norma exige que uma estrutura de concreto tenha através do repositório BIM de Muller et al. (2017).

Figura 43 Fragmento do processo preliminar de manutenção corretiva.

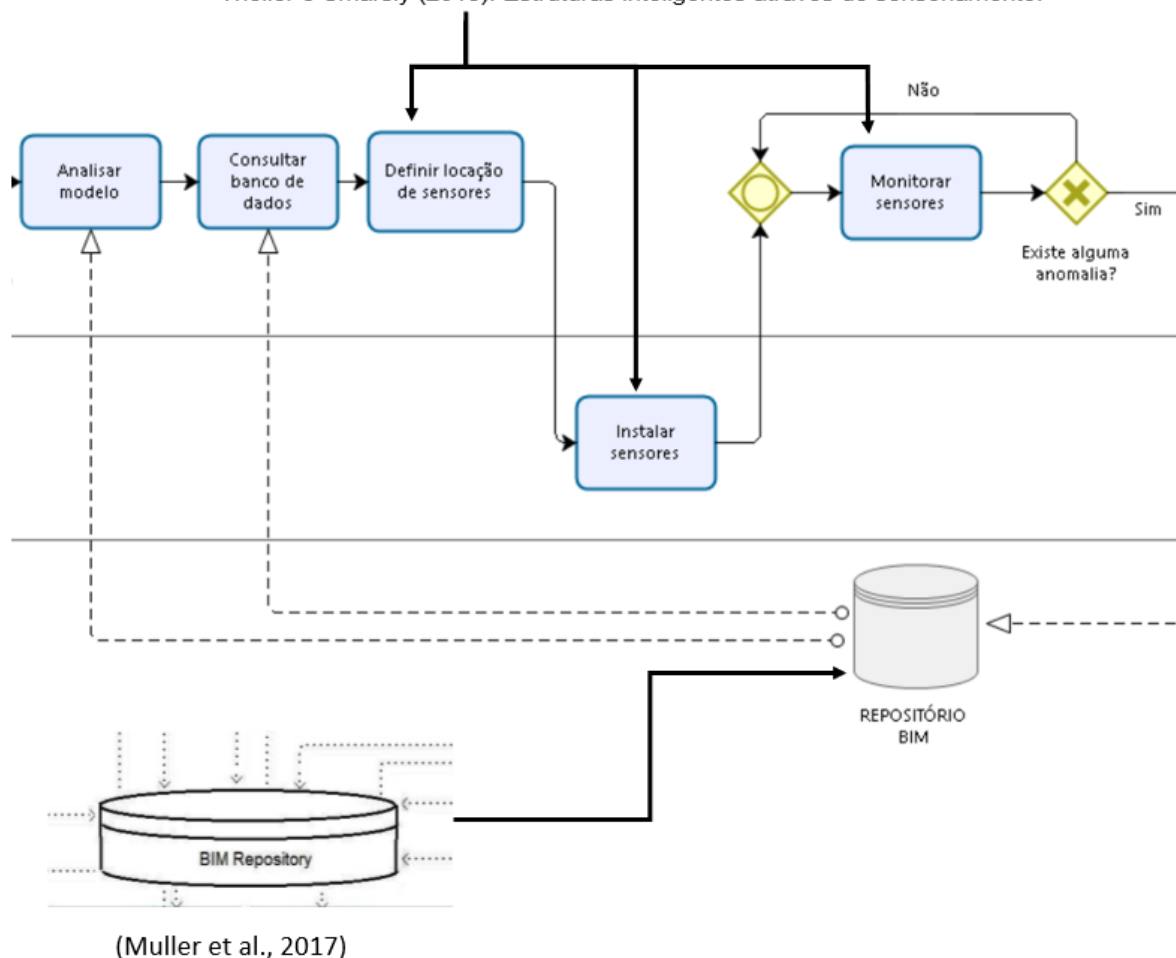


Fonte: Adaptado de Muller et al., (2017) e NBR 5674 (ABNT, 2012).

Para o processo preliminar de manutenção preventiva, mostrado no fragmento de processo da Figura 44, é explicitado como o BIM pode trazer um processo mais apurado e autônomo de identificação de problemas estruturais através da utilização de sensores, tornando as estruturas então inteligentes. Esses dois processos estão na íntegra no Apêndice F.

Figura 44 Fragmento do processo de manutenção corretiva em BIM.

Theiler e Smarsly (2018): Estruturas inteligentes através de sensoriamento.

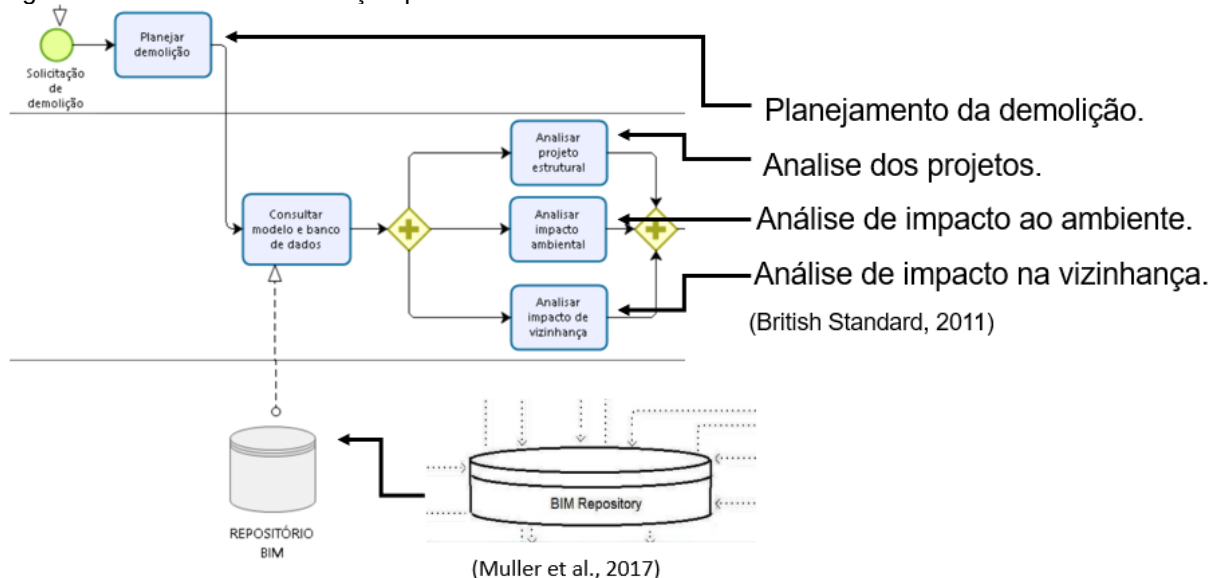


Fonte: Adaptado de Muller et al., (2017) e Thelie e Smarsly, (2018).

5.2.1.4 Processo Preliminar de Demolição

O processo preliminar de demolição em BIM foi baseado nos pontos abordados pela British Standard (2011), mostrado no fragmento de processo da Figura 45, que citou que antes da mobilização de equipes para demolição da estrutura é necessário o planejamento da demolição e as análises dos projetos, do impacto ao meio ambiente e do impacto na vizinhança. Foi utilizado também como referência os outros autores citados no tópico 3.2.5, além da representação do repositório BIM de Muller et al. (2017). Esse processo completo está no Apêndice F.

Figura 45 Processo de demolição preliminar em BIM.



Fonte: Adaptado de Muller et al., (2017) e British Standard, (2011).

5.2.2 Desenvolvimento de questionários Delphi

Conforme o método Delphi define, para a realização dessa metodologia de pesquisa é necessária a realização de questionários ou entrevistas para a validação e melhoria dos processos preliminares propostos. Nessa pesquisa foram compiladas quatro ordens diferentes de perguntas, que tinham o intuito de aperfeiçoar a proposta inicial de modelos de processos para a implementação da tecnologia BIM para as quatro fases principais do ciclo de vida de um edifício: Projeto, Construção, Manutenção e Demolição. A estruturação das folhas de pesquisas enviadas foi igual para todos os questionários elaborados. A disposição das partes eram: Introdução, Perfil dos Especialistas e, para finalizar perguntas referentes ao mapeamento de processos da fase em estudo.

A introdução situava o leitor sobre o tema da pesquisa, o motivo que propulsionava o estudo e para quem estava sendo desenvolvida. A identificação do perfil dos profissionais visava um conhecimento superficial de quem respondia as questões para uma melhor compreensão das respostas apresentadas. A última parte do questionário é composta por perguntas subjetivas, que tinham por finalidade dar liberdade aos profissionais e especialistas, para que eles recomendassem possíveis alterações no processo. As oito primeiras questões que compunham a parcela final do material enviado eram iguais para todos os questionários. As últimas perguntas eram direcionadas exclusivamente para a fase em estudo.

Os questionários para validação das propostas de mapas de processo em BIM para fases de Projeto, Construção, Manutenção/Operação e Demolição, em estruturas de concreto armado estão apresentados nos Apêndices G para primeira rodada e Apêndices I para a segunda rodada.

5.2.2.1 Perfil dos entrevistados

Foram escolhidos especialistas que atuam em uma ou mais etapas do ciclo de vida de estruturas de concreto armado e que tenham experiência com a utilização do BIM nessas etapas ou sejam acadêmicos da área de BIM. Ao todo foram 16 entrevistas divididas entre 8 na primeira rodada e 8 na segunda rodada, ou seja 2 especialistas para cada fase do ciclo de vida, as entrevistas foram compostas por 5 especialistas com os seguintes perfis.

Especialista 01:

Formação: Mestre e Engenheiro Civil.

Área de Estudo: BIM.

Experiência profissional: Possui 10 anos de experiência na construção civil, atuando nas etapas de projeto, manutenção e demolição. É proprietário a 7 anos de uma empresa que atua nas áreas de projeto, manutenção utilizando BIM em seus processos.

Entrevistas: Projeto e Manutenção.

Especialista 02:

Formação: Mestrando e Engenheiro Civil.

Área de Estudo: BIM.

Experiência profissional: Possui 5 anos de experiência na construção civil, atuando nas etapas de projetos, construção e demolição. Trabalha a 2 anos em uma empresa que utiliza BIM para projetos, construção e demolição.

Entrevistas: Construção e Demolição.

Especialista 03:

Formação: Engenheiro Civil.

Área de Estudo: BIM.

Experiência profissional: Possui 5 anos de experiência na construção civil, atuando nas etapas de projetos e construção com a utilização de BIM. Trabalha a 3 anos em uma construtora como coordenador de BIM, tendo como diferencial que todos os projetos e construções dessa empresa utilizam o sistema BIM.

Entrevista: Construção.

Especialista 04:

Formação: Doutor e Engenheiro Civil.

Área de Estudo: Mestre em Engenharia de Recursos Hídricos e Doutor em Geologia.

Experiência profissional: Tem experiência nas áreas de Engenharia Civil e Ambiental, atuando principalmente nos seguintes temas: gerenciamento de resíduos da construção civil, controle ambiental de obras viárias, gestão, licenciamento e educação ambiental, usinas de asfalto, gestão de resíduos sólidos urbanos auditoria, ambiental, sustentabilidade e recursos hídricos.

Entrevista: Demolição

Especialista 05:

Formação: Mestre e Engenheiro Civil.

Área de Estudo: BIM.

Experiência profissional: Possui 20 anos de experiência na construção civil, atuando em todas as fases do ciclo de vida de uma estrutura de concreto armado. É proprietário a 10 anos de uma empresa de projetos, a 5 anos implementou BIM na empresa e hoje realiza todos os seus processos em BIM.

Entrevista: Projeto e Manutenção.

5.2.3 PRIMEIRA RODADA DELPHI

Os resultados obtidos através dos questionários na primeira rodada do método Delphi, estão apresentados nos próximos tópicos.

5.2.3.1 Fase de Projeto

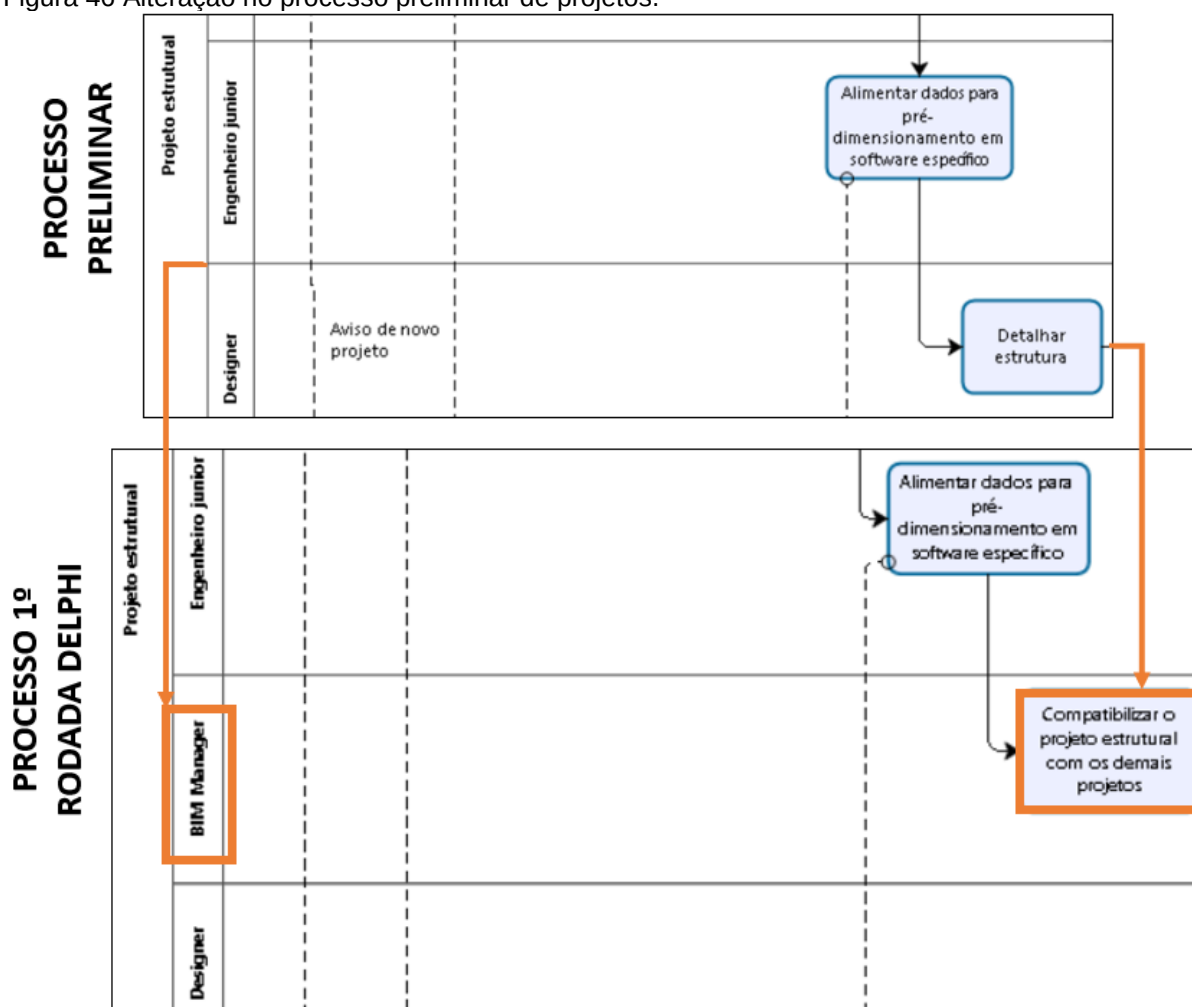
Na primeira rodada usando a metodologia Delphi, especialistas 01 e 05 que responderam aos questionários concordaram com o processo proposto em sua maior parte. Os questionários respondidos que levaram as alterações propostas estão na íntegra no Apêndice G.

As alterações sugeridas pelos profissionais e especialistas foram:

- A adição de um profissional/participante para fazer a coordenação de informações do projeto, nomeado pelo especialista como “BIM Manager”;
- Encarregar o BIM Manager de executar a tarefa de “Compatibilizar o projeto estrutural com os demais projetos”;
- Alterar o nome da tarefa “Analisar o projeto” para “Analisar o projeto existente”;
- Substituir a tarefa “Detalhar estrutura” atribuída antes para o Designer por uma nova tarefa de “Compatibilizar o projeto estrutural com os demais projetos” sendo atribuída agora para o BIM Manager.

Algumas dessas modificações estão representadas na Figura 46. Quando questionados sobre a necessidade de notificação dos outros profissionais, os entrevistados concordaram com a adequação. Ao serem indagados sobre se a proposta do modelo de processo facilitaria a compatibilização de projetos, os profissionais responderam que sim. Após analisar as respostas dos especialistas 01 e 05, foram feitas as devidas alterações sugeridas e o processo completo está dentro do Apêndice H.

Figura 46 Alteração no processo preliminar de projetos.



Fonte: O Autor, (2019).

5.2.3.2 Fase de Construção

Na primeira rodada usando a metodologia Delphi os especialistas 02 e 03 responderam aos questionários concordando com o processo proposto em sua maior parte. Os questionários respondidos que levaram as alterações propostas estão na íntegra no Apêndice G.

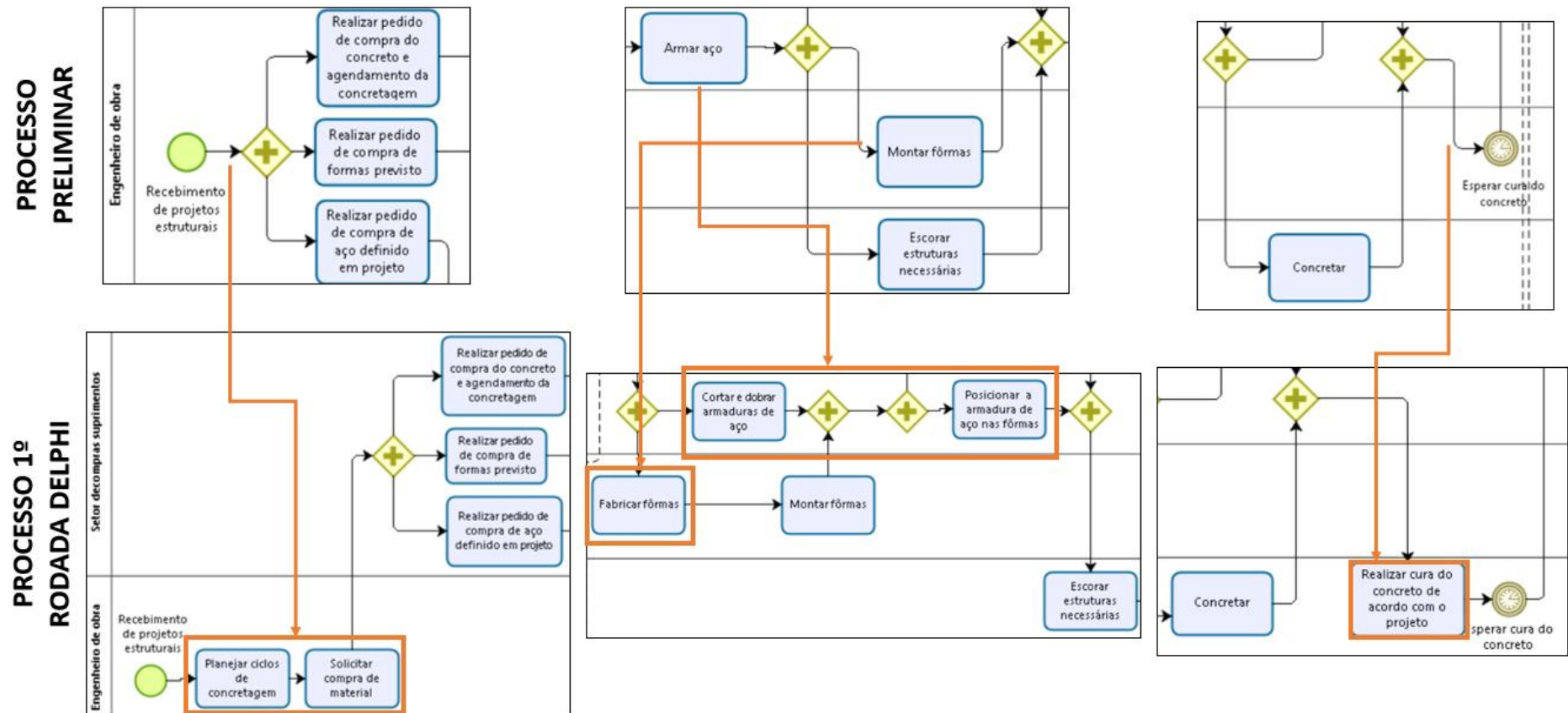
As alterações sugeridas pelos profissionais e especialistas foram:

- A adição de um setor de suprimentos e compras, para realizar o pedido de compra de todos os materiais;
- A adição de uma tarefa para o Engenheiro de obra para a solicitação de compra de materiais;

- Dividir a tarefa de “Armar o aço” em “Cortar e dobrar armaduras de aço” e “Posicionar a armadura de aço nas fôrmas”;
- Acrescentar a tarefa “Fabricar fôrmas” antes de “Montar fôrmas”;
- Acrescentar a tarefa para o pedreiro “Realizar cura do concreto de acordo com o projeto”;
- Alterar tarefa “Executar obra” para “Analisar projeto”;
- Acrescentar tarefa “Planejar ciclos de concretos” antes de realizar o pedido materiais.

Algumas dessas modificações estão representadas na Figura 47. Quanto à logística da obra, ambos participantes concordaram que o modelo de processo proposto traria benefícios. Ao serem questionados sobre qual participante do processo deveria alimentar o modelo durante o processo, ambos os profissionais responderam que o Engenheiro de Obra deveria ser o encarregado. Após analisar as respostas dos especialistas 02 e 03, foram feitas as devidas alterações sugeridas, foram feitas as devidas alterações sugeridas e o processo completo está dentro do Apêndice H.

Figura 47 Alteração do processo de construção preliminar.



Fonte: O Autor, (2019).

5.2.3.3 Fase de Manutenção

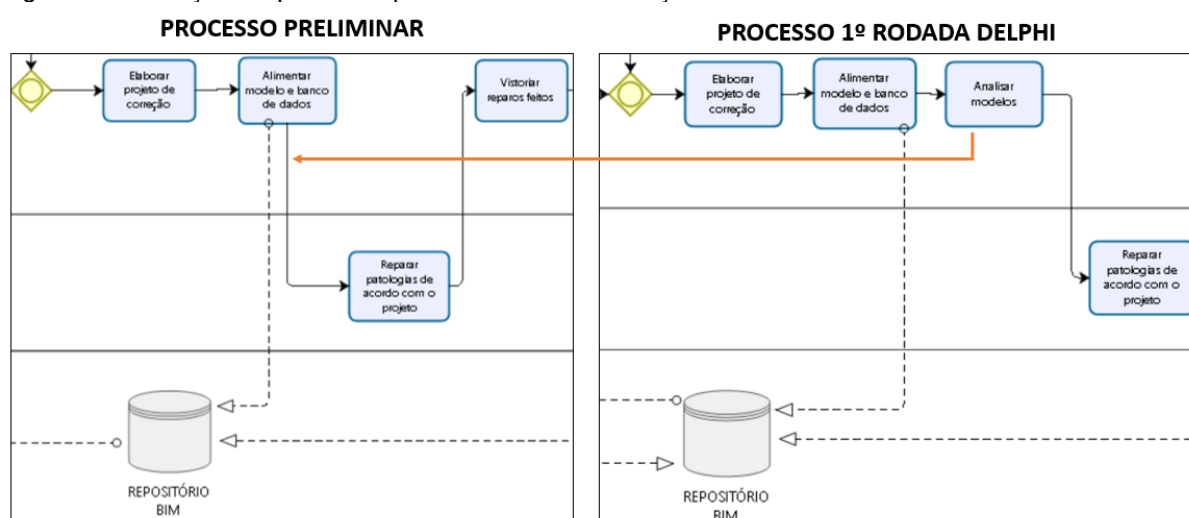
Na primeira rodada usando a metodologia Delphi, os especialistas 01 e 05 responderam aos questionários concordando com o processo proposto em sua maior parte. Os questionários respondidos que levaram as alterações propostas estão na íntegra no Apêndice G.

As alterações sugeridas pelos profissionais e especialistas foram:

- Nos dois modelos de processo propostos (corretiva e preventiva) acrescentar a tarefa “Analisar modelos” logo depois das tarefas de “Alimentar modelo e banco de dados”;
- Nos dois modelos de processo propostos (corretiva e preventiva) acrescentar o participante Engenheiro Estrutural.

Algumas dessas modificações estão representadas na Figura 48. Quando questionados sobre a possibilidade da melhoria de comunicação entre os participantes do processo proposto, ambos os entrevistados concordaram que o modelo traria benefícios. Após analisar as respostas dos especialistas 01 e 05, foram feitas alterações sugeridas e o processo completo está dentro do Apêndice H.

Figura 48 Alteração do processo preliminar de manutenção.



Fonte: O Autor, (2019).

5.2.3.4 Fase de Demolição

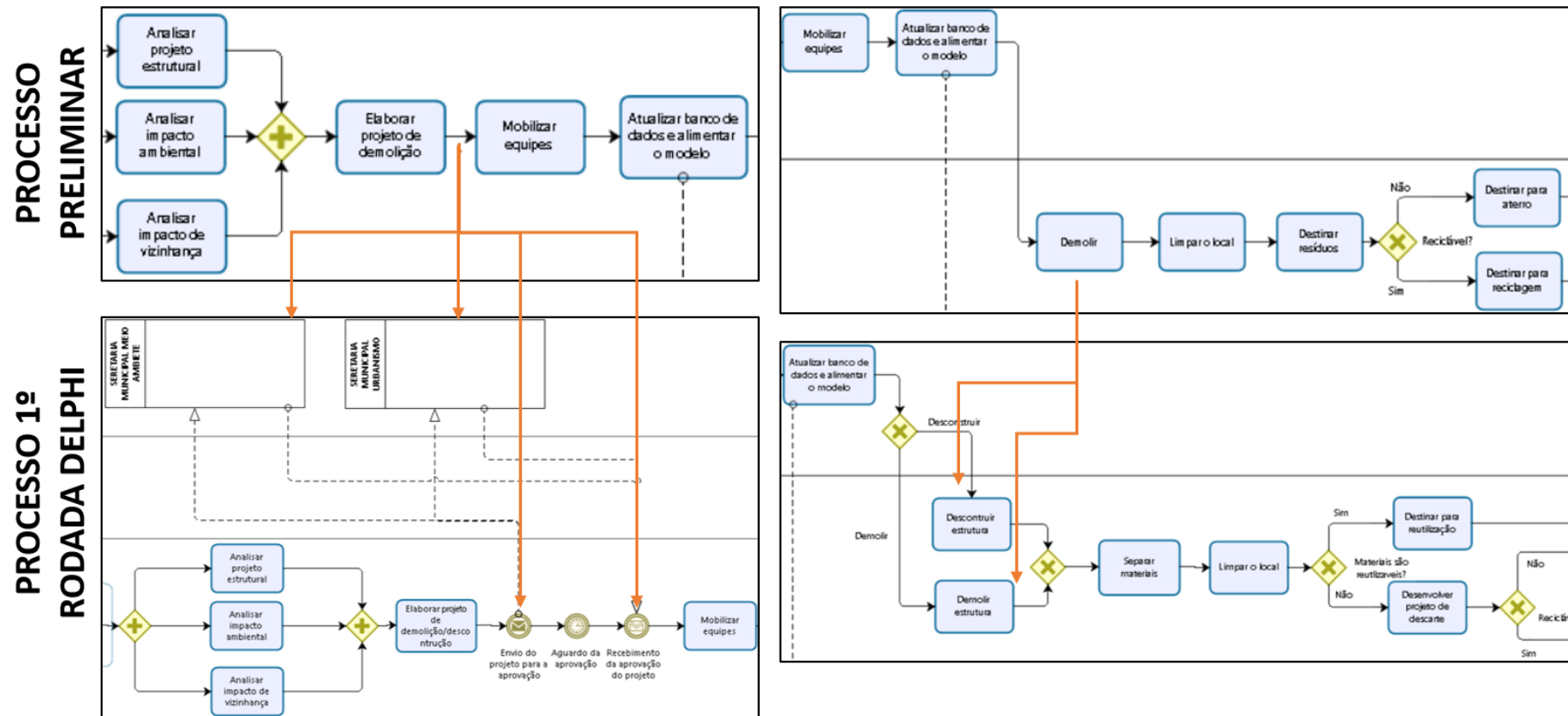
Na primeira rodada usando a metodologia Delphi os especialistas 02 e 04 responderam aos questionários concordando com o processo proposto em sua maior parte. Os questionários respondidos que levaram as alterações propostas estão na íntegra no Apêndice G.

As alterações sugeridas pelos profissionais e especialistas foram:

- Separar o processo entre desconstrução e demolição, prevendo reutilização do material;
- Alterar nome da tarefa de “Atualização do banco de dados e alimentar modelo” para “Atualizar banco de dados sobre a situação da demolição/desconstrução”;
- Acrescentar os participantes Secretaria Municipal de Urbanismo e Secretaria Municipal do Meio Ambiente, que irão liberar a aprovação do projeto de demolição/desconstrução;
- Foi sugerido que fosse colocado os processos de aprovação dentro das secretarias de meio ambiente e urbanismo. Porém, essa alteração não foi adicionada, pois seria necessário criar um sub-processo completo para representar essa aprovação dentro das secretarias, fugindo do escopo dessa dissertação; então foi escolhido colocar apenas a indicação de que é necessário aprovar um projeto para que ocorra a demolição.

Algumas dessas modificações estão representadas na Figura 49. Ao serem perguntados sobre se o modelo de processo proposto possibilitaria a uma melhor prevenção na destinação de resíduos, ambos entrevistados acreditavam que o processo beneficiaria esse requisito. Após analisar as respostas dos especialistas 02 e 04 foram feitas alterações sugeridas e o processo completo está dentro do Apêndice H.

Figura 49 Alteração do processo preliminar de demolição através das respostas dos especialistas.



Fonte: O Autor, (2019).

5.2.4 Segunda Rodada Delphi

Os resultados obtidos através dos questionários da segunda rodada do método Delphi estão apresentados nos próximos tópicos.

5.2.4.1 Fase de Projeto

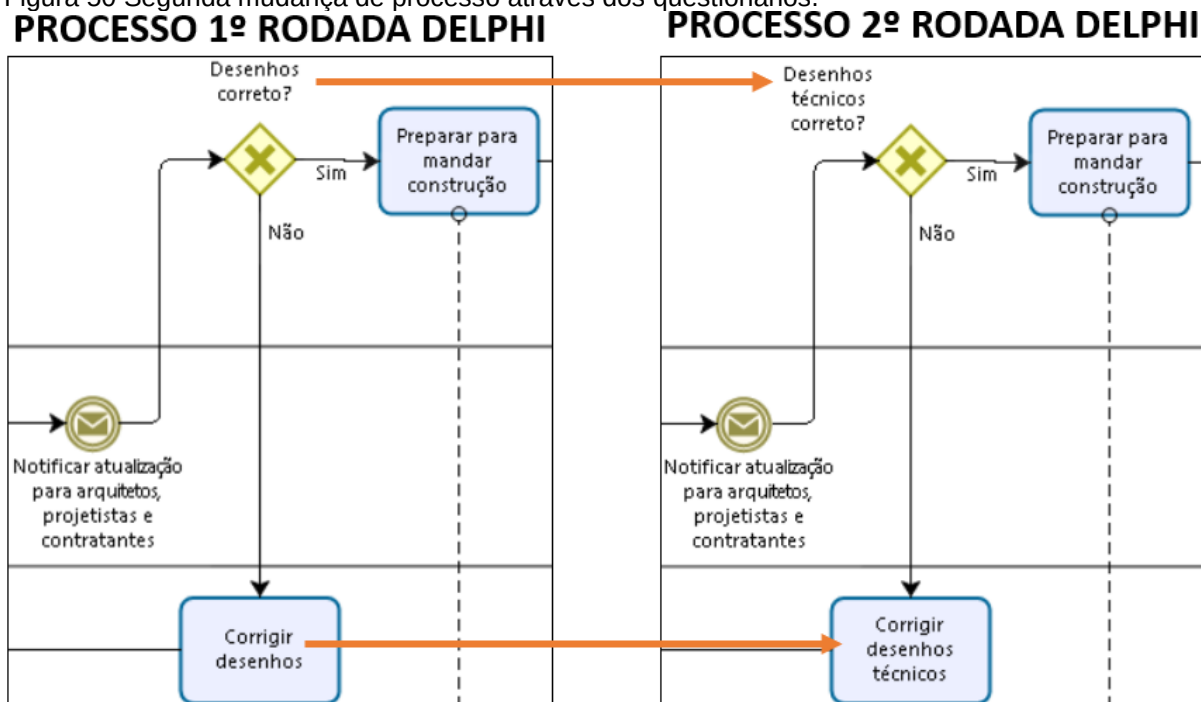
Na primeira rodada usando a metodologia Delphi os especialistas 01 e 05 responderam aos questionários concordando com o processo proposto em sua maior parte. Os questionários respondidos que levaram as alterações propostas estão na íntegra no Apêndice I.

As alterações sugeridas pelos profissionais e especialistas foram:

- Alterar a pergunta do ponto de decisão de “Desenhos corretos?” para “Detalhes técnicos corretos?”;
- Alterar a tarefa “Corrigir desenhos” para “Corrigir desenhos técnicos”.

As modificações estão representadas na Figura 50 e o processo completo alterado está dentro do Apêndice J.

Figura 50 Segunda mudança de processo através dos questionários.



Fonte: O Autor, (2019).

5.2.4.2 Fase de Construção

Na primeira rodada usando a metodologia Delphi os especialistas 02 e 03 responderam aos questionários e concordaram com o processo proposto, sendo que não foram sugeridas novas alterações a serem implementadas. Os questionários respondidos na íntegra estão no Apêndice I.

5.2.4.3 Fase de Manutenção

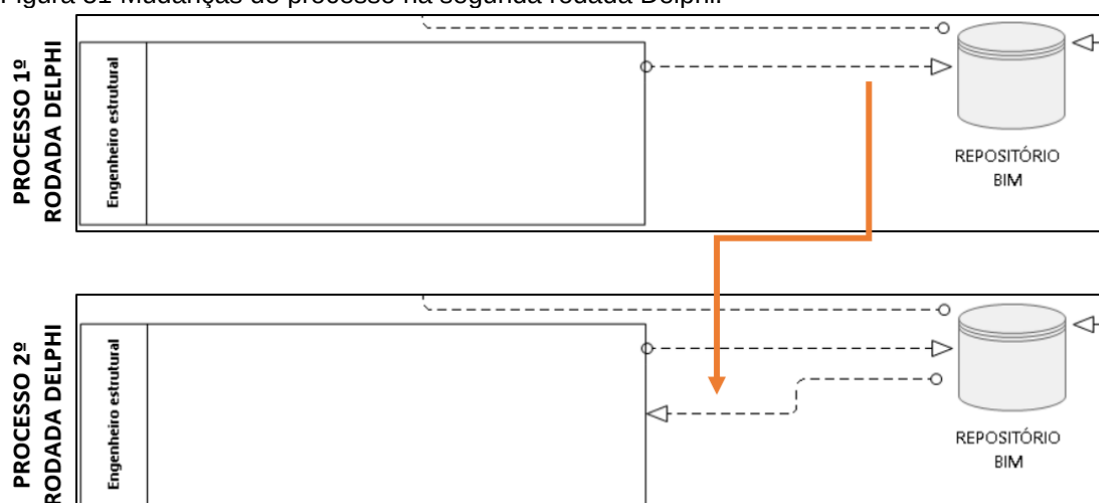
Na segunda rodada usando a metodologia Delphi os especialistas 1 e 5, responderam aos questionários e concordaram com o processo proposto em sua maior parte. Os questionários respondidos que levaram as alterações propostas estão na íntegra no Apêndice I.

As alterações sugeridas pelos profissionais e especialistas foram:

- Acrescentar o fluxo de entrada de dados para o participante “Engenheiro Estrutural” nos dois modelos de processos de Manutenção (Preventiva e Corretiva).

Após analisar as respostas dos profissionais e especialistas, foram feitas as devidas alterações sugeridas. As modificações estão representadas na Figura 51 e o processo completo alterado está dentro do Apêndice J.

Figura 51 Mudanças de processo na segunda rodada Delphi.



Fonte: O Autor, (2019).

5.2.4.4 Fase de Demolição

Na segunda rodada usando a metodologia Delphi os especialistas 2 e 4 responderam aos questionários e concordaram com o processo proposto e não foram feitas sugestões de mudanças. Os questionários respondidos estão na íntegra no Apêndice I.

5.2.5 Considerações da Pesquisa TO-BE

Essa etapa da dissertação teve como objetivo modelar todos os processos do ciclo de vida de uma estrutura de concreto armado utilizando BIM. Para isso ocorreram 16 entrevistas com 5 especialistas das áreas de Processo, Construção, Manutenção e Demolição, para o preenchimento de questionários afim de melhorar os processos preliminares elaborados. Os especialistas entrevistados possuem formação acadêmica sendo 1 Mestrando, 4 Mestres e 1 Doutor. Todos atuam diretamente na construção civil utilizando BIM em seus trabalhos, com exceção do Doutor que possuem esse contato via academia.

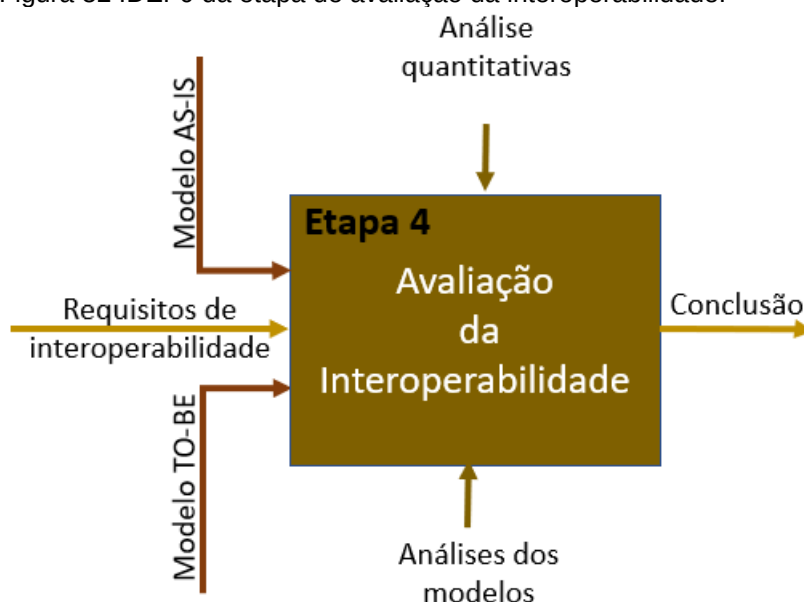
Contudo, a maioria das mudanças sugeridas nos processos apresentados não estão relacionados a utilização do BIM. De um total de 20 alterações pedidas pelos especialistas, apenas 6 se relacionam com o BIM, sendo que dessas apenas 2 realmente propõe mudanças significativas - como no processo de projeto que prevê a inserção de um profissional chamado BIM Manager e ainda atribuindo a função de compatibilizar a estrutura com os demais processos.

A finalização da modelagem dos processos TO-BE também representa a conclusão do objetivo específico iii proposto por essa dissertação.

6 AVALIAÇÃO DA INTEROPERABILIDADE

Com as modelagens dos processos AS-IS e TO-BE realizadas é possível avaliá-los dentro dos requisitos de interoperabilidade definidos no capítulo 3, nas seções 3.6, 3.7, 3.8 e 3.9, conforme mostrado no diagrama IDEF0 da Figura 52. Os próximos tópicos são referentes a definir, dentro dos requisitos encontrados, quais são os critérios que serão utilizados para avaliar a interoperabilidade de forma quantitativa, em cada uma de suas perspectivas segundo o FEI, (2006).

Figura 52 IDEF0 da etapa de avaliação da interoperabilidade.



Fonte: O Autor, (2019).

6.1 CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO

6.1.1 Critério da Perspectiva de Negócio

O requisito de interoperabilidade estabelecido no tópico 3.6, refere-se à compatibilidade dos processos modelados com suas respectivas normas:

- Etapa de projetos: ABNT NBR 6118:2014.
- Etapa de construção: ABNT NBR 14391:2004.
- Etapa de manutenção: ABNT NBR 5674:2012.
- Etapa de demolição: NBR 5682:1977.

Porém, como o foco desta avaliação está ligada aos processos e relações do ciclo de vida, foi extraído no tópico citado, as exigências da norma relacionadas a necessidade de interação entre os agentes e fases. Com isso, o critério avaliação de interoperabilidade de negócios será a quantidade de tarefas, mapeadas pelos profissionais, que atendem as tarefas exigidas pelas normas.

Então, analisando cada um dos processos chegou-se aos seguintes resultados.

6.1.1.1 Processo da Fase de Projeto AS-IS

As tarefas encontradas no processo AS-IS modelado, que atendem a norma são as constantes da Quadro 6.

Quadro 6 Tarefas do processo de projeto AS-IS que atendem as normas.

Nº	Tarefa da Norma		Tarefa do Processo AS-IS
1	5.1.2.3	Contratante - Definição da agressividade do meio ambiente	Visita ao local da Obra
2	5.2.1	Arquiteto - Verificação de interferências com o arquitetônico	Verificação de interferências com o arquitetônico
3	5.2.1	Contratante - Anuência do contratante	Definição do Modelo Estrutural

Fonte: O Autor, (2019).

É importante salientar que as tarefas, mesmo que não explicitem exatamente o que está na norma, mas que tem condição de atender à exigência, serão consideradas:

- Tarefa 1 - Apesar da norma citar que essa tarefa é feita junto com o contratante, pode-se dizer que a tarefa da norma seja satisfeita com essa tarefa do processo AS-IS.
- Tarefa 2 - Na tarefa do AS-IS é mostrada a verificação da interferência sendo enviada ao contratante, porém como a tarefa é clara em dizer que se trata da verificação, é satisfeita a exigência da norma.
- Tarefa 3 - Existe na tarefa definição do modelo estrutural uma indicação de mensagem mostrando que é avisado ao contratante qual é o modelo estrutural que está sendo proposto; apesar de não ter o gateway dizendo

se foi aprovado ou não, foi considerado como satisfeita a exigência da norma.

Com isso existem no processo AS-IS de projeto apenas 3 tarefas que atendem a norma de um total de 33.

6.1.1.2 Processo da Fase de Projeto TO-BE

As tarefas encontradas no processo TO-BE modelado, que atendem a norma são as constantes da Quadro 7.

Quadro 7 Tarefas do processo de projeto TO-BE que atendem as normas.

Nº	Tarefa da Norma		Tarefa do Processo TO-BE
1	5.1.1	Contratante - Definição dos requisitos adicionais	Analisar o Projeto existente
2	5.2.1	Contratante - Definição da agressividade do meio ambiente	Analisar o Projeto existente
3	5.2.1	Resp. Téc. Elétrico - Identificação de Conflitos	Compatibilizar o projeto estrutural com os demais projetos
4	5.2.1	Resp. Téc. Hidráulico - Identificação de Conflitos	Compatibilizar o projeto estrutural com os demais projetos
5	5.2.1	Resp. Téc. Ar-condicionado - Identificação de Conflitos	Compatibilizar o projeto estrutural com os demais projetos
6	5.2.1	Resp. Téc. Técnico Outros - Identificação de Conflitos	Compatibilizar o projeto estrutural com os demais projetos
7	5.2.1	Contratante - Anuência do contratante	Definição do Modelo Estrutural
8	5.2.1	Arquiteto - Identificação de Conflitos	Verificação de interferências com o arquitetônico
9	5.2.2.1	Contratante - Definição das condições impostas ao projeto	Pré-dimensionar a estrutura/ Notificar atualização para arquitetos, projetistas e contratantes.
10	25.1	Contratante - Aceitação do projeto	Preparar para mandar para a construção/ Notificar atualização para arquitetos, projetistas e contratantes

Fonte: O Autor, (2019).

É importante salientar que as tarefas, mesmo que não explicitem exatamente o que está na norma, mas que tem condição de atender à exigência, serão consideradas:

- Tarefa 1 - Apesar de não estar explicitado que existe ou não requisitos adicionais exigidos pelo contratante, a tarefa de análise do projeto existente sai diretamente do artefato repositório BIM, onde o contratante, segundo o processo modelado, também tem acesso e pode interagir com este adicionando requisitos se necessário.
- Tarefa 2 – No mesmo sentido da Tarefa 1, onde o contratante pode interagir adicionando as definições da agressividade do meio ambiente.
- Tarefa 3, 4, 5, 6 e 8 – Esta tarefa da norma está claramente sendo atendido pela tarefa proposta no processo, pois ainda que já esteja escrito que existe a compatibilização do projeto estrutural com os demais projetos, o processo ainda mostra que os demais responsáveis técnicos estão ligados através do repositório BIM.
- Tarefa 9 – Na tarefa de pré-dimensionar a estrutura é definida as condições impostas ao projeto e logo em seguida é enviado ao contratante essas informações.
- Tarefa 10 – A tarefa de preparar para mandar a construção possui ligação com o repositório BIM, e logo em seguida existe a tarefa que notifica o contratante. Desta forma, existe possibilidade do contratante estar ao par dos projetos e interferir caso seja necessário.

Com isso existem no processo TO-BE de projeto apenas 10 tarefas que atendem a norma de um total de 33.

6.1.1.3 Processo da Fase de Construção AS-IS

As tarefas encontradas no processo AS-IS modelado, que atendem a norma são as constantes da Quadro 8.

Quadro 8 Tarefas do processo de construção AS-IS que atendem as normas.

Nº	Tarefa da Norma		Tarefa do Processo AS-IS
1	5.1	Projetos - Recebimento dos projetos estruturais	Análise dos projetos e levantamento de quantitativos.
2	11	Contratante - Recebimento da Obra	Entrega ao cliente.

Fonte: O Autor, (2019).

É importante salientar que as tarefas, mesmo que não explicitem exatamente o que está na norma, mas que tem condição de atender à exigência serão consideradas:

- Tarefa 1 – Na tarefa de análise dos projetos e levantamento de quantitativos, existe uma indicação de recebimento dos projetos estruturais, sendo assim atendido a norma.
- Tarefa 2 – A última tarefa do processo é a entrega da obra ao cliente.

Com isso existem no processo AS-IS de construção apenas 2 tarefas que atendem a norma de um total de 18.

6.1.1.4 Processo da Fase de Construção TO-BE

As tarefas encontradas no processo AS-IS modelado, que atendem a norma são as constantes da Quadro 9.

Quadro 9 Tarefas do processo de construção TO-BE que atendem as normas.

Nº	Tarefa da Norma		Tarefa do Processo TO-BE
1	5.1	Projetos - Recebimento dos projetos estruturais	Recebimento dos projetos estruturais.

Fonte: O Autor, (2019).

6.1.1.5 Processo da Fase de Manutenção AS-IS

As tarefas encontradas no processo AS-IS modelado, que atendem a norma são as constantes da Quadro 10.

Quadro 10 Tarefa do processo de manutenção AS-IS que atendem as normas.

Nº	Tarefa da Norma		Tarefa do Processo AS-IS
1	4.1.6d)	Projeto/Construção - Manual de Operação e manutenção.	Visita técnica
2	4.2.2	Operação - Solicitação ou reclamações	Solicitação de manutenção
3	4.3.2	Construção - Projeto "como construído"	Elaboração de projeto de intervenção estrutural
4	4.3.2	Projeto - Entrega de projetos e memoriais	Elaboração de projeto de intervenção estrutural
5	7.2	Operação - Fornecimento dos registros de contratação	Visita técnica
6	7.2	Operação - Fornecimento dos registros de execução	Visita técnica
7	7.4	Anexação dos registros de manutenção no manual	Elaboração do Manual de intervenções de manutenção

Fonte: O Autor, (2019).

É importante salientar que as tarefas mesmo que não explicitem exatamente o que está na norma, mas que tem condição de atender à exigência serão consideradas:

- Tarefa 1 – A tarefa visita técnica possui a entrada da informação manual do proprietário, logo atendendo a norma.
- Tarefa 2 – A tarefa solicitação de manutenção parte do usuário/proprietário, então também atendendo a tarefa da norma.
- Tarefa 3 - Na tarefa elaboração de projeto de intervenção estrutural existe o recebimento dos projetos estruturais e complementares, apesar de não dizer especificamente que foi feito o “as-built”, como está indicado que a construtora passou esses projetos foi considerado atendendo a norma.
- Tarefa 4 – Da mesma forma que explicado na tarefa 3, foi considerado que os projetos vieram com seus respectivos memoriais.
- Tarefa 5, 6 – Com a tarefa da visita técnica foi considerado que, junto com os manuais foram anexados os registros de contratação e execução anteriores.
- Tarefa 7 – Com a tarefa de elaboração do manual de intervenções, é possível entender que caso já exista um manual ele seria atualizado.

Com isso existem no processo AS-IS de manutenção 7 tarefas que atendem a norma de um total de 8.

6.1.1.6 Processo da Fase de Manutenção TO-BE

As tarefas encontradas no processo TO-BE modelado, que atendem a norma são as constantes da Quadro 11.

Quadro 11 Tarefas do processo de manutenção TO-BE que atendem as normas.

Nº	Tarefa da Norma		Tarefa do Processo TO-BE
1	4.1.6d)	Projeto/Construção - Manual de Operação e manutenção.	Analisar o modelo e banco de dados
2	4.2.2	Operação - Solicitação ou reclamações	Recebimento da ocorrência
3	4.3.2	Construção - Projeto "como construído"	Analisar o modelo e banco de dados
4	4.3.2	Projeto - Entrega de projetos e memoriais	Analisar o modelo e banco de dados
5	4.3.2	Fornecedores - Características Específicas	Analisar o modelo e banco de dados
6	7.2	Operação - Fornecimento dos registros de contratação	Analisar o modelo e banco de dados
7	7.2	Operação - Fornecimento dos registros de execução	Analisar o modelo e banco de dados
8	7.4	Anexação dos registros de manutenção no manual	Alimentar o modelo e banco de dados

Fonte: O Autor, (2019).

É importante salientar que as tarefas mesmo que não explicitem exatamente o que está na norma, mas que tem condição de atender à exigência serão consideradas:

- Tarefa 1, 3, 4, 5, 6, 7 – O BIM apresenta uma grande vantagem, é possível agregar muitos tipos de informações em um único local, sejam projetos, características dos materiais, memoriais, intervenções etc. Ou seja, só pelo fato de existir o repositório BIM é possível acreditar que existam essas tarefas no processo.
- Tarefa 2 – A tarefa solicitação de manutenção parte do usuário/proprietário, então também atendendo a tarefa da norma.
- Tarefa 8 – Com a alimentação do repositório BIM é atualizado as informações do modelo conforme as intervenções feitas.

Com isso existem no processo TO-BE de manutenção tem 8 tarefas que atendem a norma de um total de 8.

6.1.1.7 Processo da Fase de Demolição AS-IS

As tarefas encontradas no processo AS-IS modelado, que atendem a norma são as constantes da Quadro 12.

Quadro 12 Tarefas do processo de demolição AS-IS que atendem as normas.

Nº	Tarefa da Norma		Tarefa do Processo AS-IS
1	3.8	Contratante - Contratação do serviço de demolição	Recebimento do pedido demolição para estudo
2	5.14	Contratante - Obtenção das para a demolição	Solicitação de licenças
3	5.27	Contratante - Obtenção de licenças para fechamento de rua	Solicitação de licenças

Fonte: O Autor, (2019).

É importante salientar que as tarefas mesmo que não explicitem exatamente o que está na norma, mas que tem condição de atender à exigência serão consideradas:

- Tarefa 1 – A contratação do serviço de demolição é satisfeita pela tarefa de recebimento do pedido de demolição para estudo.
- Tarefa 2, 3 – Como ficou generalizado a tarefa de solicitação de licenças, então é entendível que atenda as duas exigências da norma.

Com isso existem no processo AS-IS de construção apenas 3 tarefas que atendem a norma de um total de 6.

6.1.1.8 Processo da Fase de Demolição TO-BE

As tarefas encontradas no processo TO-BE modelado, que atendem a norma são as constantes da Quadro 13.

Quadro 13 Tarefas do processo de demolição TO-BE que atendem as normas.

Nº	Tarefa da Norma		Tarefa do Processo AS-IS
1	3.8	Contratante - Contratação do serviço de demolição.	Solicitação de demolição
2	5.9	Projetos - Projetos estruturais.	Consultar modelo e banco de dados
3	5.9	Construção - Projeto "como construído".	Consultar modelo e banco de dados
4	5.14	Contratante - Obtenção das para a demolição.	Envio projeto para aprovação
5	5.27	Contratante - Obtenção de licenças para fechamento de rua.	Envio projeto para aprovação

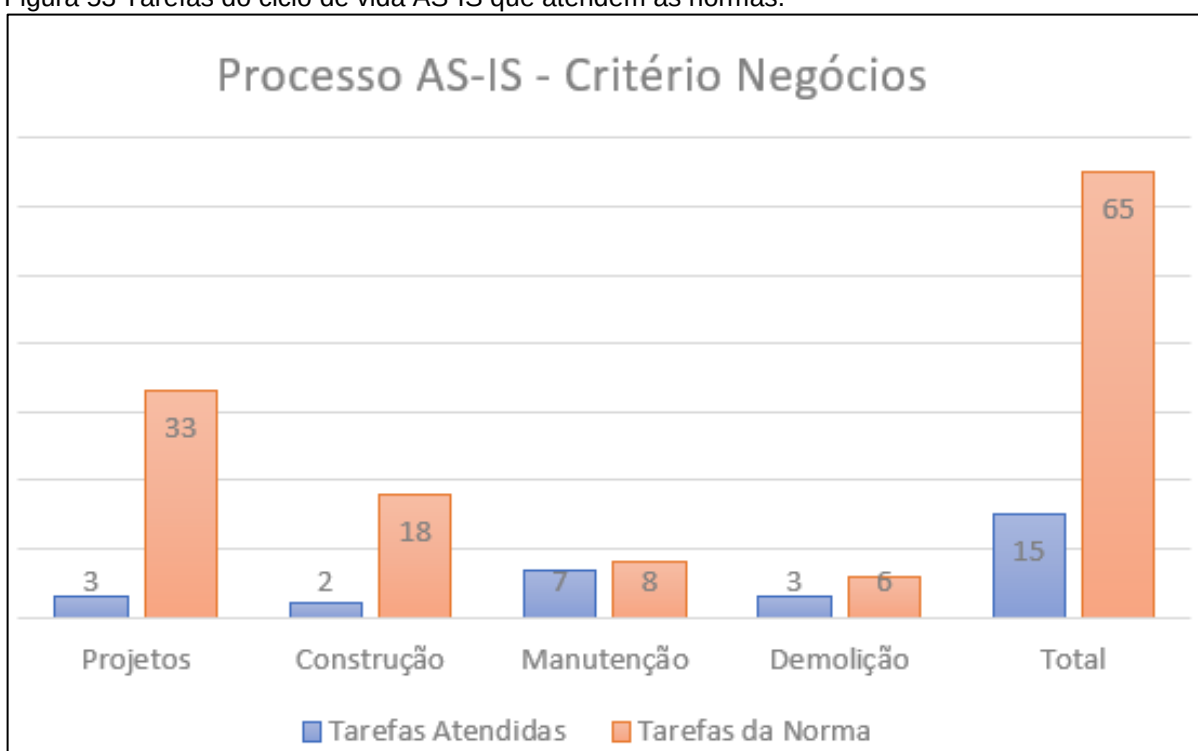
Fonte: O Autor, (2019).

6.1.1.9 Discussão dos Resultados

Ao final das análises do critério de negócios de todas as etapas do ciclo de vida de uma estrutura de concreto armado, nos dois processo AS-IS e TO-BE, chegou-se no resultado da figura 53 e 54, onde 15 tarefas do ciclo de vida AS-IS atendem as normas e 24 tarefas do ciclo de vida TO-BE estão em atendimento. Logo, o ciclo de vida TO-BE possui 60% a mais de conformidade com as normas do que a versão sem a utilização de BIM. Com isso é possível constatar que os profissionais que utilizam o BIM em seus processos conseguem descrever um processo mais interoperável no quesito de negócios.

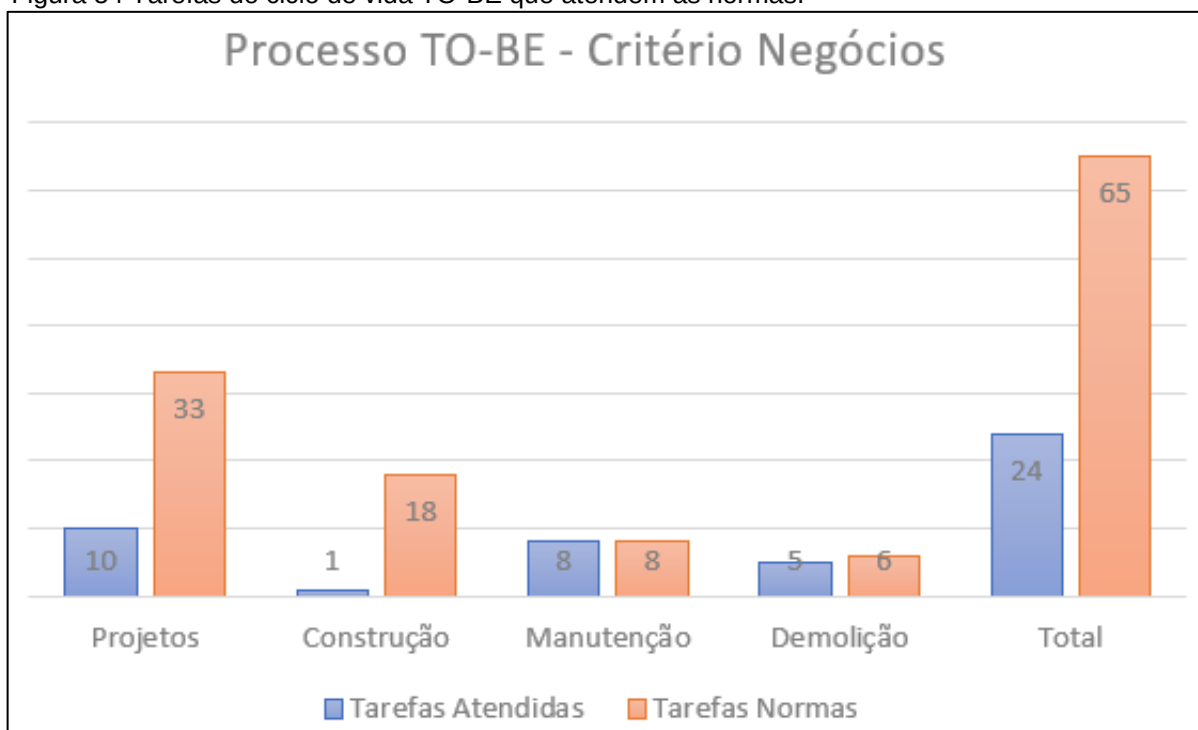
Porém, ao ser comparado com a quantidade total de tarefas que são requisitadas pelas normas, os dois processos têm resultados ruins, sendo que o ciclo de vida AS-IS possui 23,08% de atendimento da norma, e o ciclo de vida TO-BE 36,92% de atendimento. Evidenciando que, apesar da utilização do BIM melhorar a interoperabilidade de negócios, existe um amplo espaço para a melhoria dos processos.

Figura 53 Tarefas do ciclo de vida AS-IS que atendem as normas.



Fonte: O Autor, (2019).

Figura 54 Tarefas do ciclo de vida TO-BE que atendem as normas.



Fonte: O Autor, (2019).

6.1.2 Critério da Perspectiva de Processo

Como já explicado no tópico 3.7, para que exista a interoperabilidade de processos, assume-se que exista um bom grau de detalhamento das atividades e que tal detalhamento permita que processos externos tenham mais facilidade de se conectar. O critério que será estabelecido é a quantidade de tarefas mapeadas, porém, será analisado cada processo para não ficar subjetivo e garantir que um processo é de fato mais detalhado que o outro.

O Quadro 14, mostra a quantidade de tarefas que cada um dos processos possui, sendo que o total de tarefas no ciclo de vida do processo AS-IS ficou em 61 e no processo TO-BE ficou em 89 tarefas mapeadas. Existe uma diferença considerável na quantidade de tarefas mapeadas de cada um dos ciclos de vida, onde no processo TO-BE existem 28 tarefas a mais, representado um total de 45,90%, do que o processo AS-IS.

Quadro 14 Contagem de tarefas totais dos ciclos de vida AS-IS e TO-BE.

Processo AS-IS	Tarefas	Processo TO-BE	Tarefas
Projeto	17	Projeto	17
Construção	18	Construção	32
Manutenção	9	Manutenção	21
Demolição	17	Demolição	19
Total	61	Total	89

Fonte: O Autor, (2019).

6.1.2.1 Processo Fase de Projetos

Comparando as tarefas existentes nos dois processos de projeto, para uma avaliação mais precisa, é notado que algumas tarefas pertencem exclusivamente ao processo de projeto TO-BE, mostradas no quadro 10, sendo estas “Notificar atualização para arquitetos projetista e contratantes” que são tarefas inerentes da utilização do BIM.

Logo, para uma comparação mais afinada do grau de detalhamento dos dois processos, é necessário deixá-los iguais, removendo essas tarefas, como é

mostrado no Quadro 15, onde reduziu-se as tarefas do processo de construção TO-BE para 13, sendo assim o processo AS-IS possui 30,77% a mais de tarefas.

Quadro 15 Retirada das tarefas exclusivas do BIM para comparação.

Nº	Processo de Projeto AS-IS	Nº	Processo de Projeto TO-BE
1	Recebimento do Projeto Arquitetônico e complementares	1	Analisar o projeto existente
2	Estudo dos Projetos	2	Definir estrutura
3	Visita ao local de obra	3	Pré-dimensionar a estrutura
4	Estudo do modelo estrutural	-	Notificar atualização para arquitetos projetistas e contratantes
5	Definição do modelo estrutural	4	Alimentar dados para pré-dimensionamento em software específico
6	Pré-dimensionamento	5	Compatibilizar o projeto estrutural com os demais projeto
7	Desenho da estrutura	-	Notificar atualização para arquitetos projetistas e contratantes
8	Verificação de interferência com arquitetônico	6	Checar diagrama momento fletor e força cortante
9	Cálculo estrutural definitivo	7	Detalhar armadura para viga, pilares e lajes
10	Cálculo das fundações	8	Preparar planta de cargas e documentação para projeto de fundação
11	Desenho e detalhamento da estrutura	9	Detalhar armadura de fundação
12	Análise dos desenhos estruturais	10	Detalhar armadura e detalhes de projeto
13	Análise dos desenhos da fundações	11	Compatibilizar projeto estrutural com os demais projetos
14	Desenho e detalhamento das fundações	-	Notificar atualização para arquitetos projetistas e contratantes
15	Emissão de projeto executivo fundação	12	Corrigir detalhes técnicos
16	Emissão do projeto executivo estrutural	13	Preparar para mandar para construção
17	Envio para a obra	-	Notificar atualização para arquitetos projetistas e contratantes

Fonte: O Autor, (2019).

Então foi comparado, através do Quadro 16, as tarefas dos dois processos, para checar se é uma derivação das tarefas existentes ou são tarefas novas.

Quadro 16 Comparação de tarefas semelhantes.

Nº	Processo de Projeto AS-IS	Nº	Processo de Projeto TO-BE
1	Recebimento do Projeto Arquitetônico e complementares	1	Analisar o projeto existente
2	Estudo dos Projetos	2	Definir estrutura
3	Visita ao local de obra	3	Pré-dimensionar a estrutura
4	Estudo do modelo estrutural	-	Notificar atualização para arquitetos projetistas e contratantes
5	Definição do modelo estrutural	4	Alimentar dados para pré-dimensionamento em software específico
6	Pré-dimensionamento	5	Compatibilizar o projeto estrutural com os demais projeto
7	Desenho da estrutura	-	Notificar atualização para arquitetos projetistas e contratantes
8	Verificação de interferência com arquitetônico	6	Checar diagrama momento fletor e força cortante
9	Cálculo estrutural definitivo	7	Detalhar armadura para viga, pilares e lajes
10	Cálculo das fundações	8	Preparar planta de cargas e documentação para projeto de fundação
11	Desenho e detalhamento da estrutura	9	Detalhar armadura de fundação
12	Análise dos desenhos estruturais	10	Detalhar armadura e detalhes de projeto
13	Análise dos desenhos da fundações	11	Compatibilizar projeto estrutural com os demais projetos
14	Desenho e detalhamento das fundações	-	Notificar atualização para arquitetos projetistas e contratantes
15	Emissão de projeto executivo fundação	12	Corrigir detalhes técnicos
16	Emissão do projeto executivo estrutural	13	Preparar para mandar para construção
17	Envio para a obra	-	Notificar atualização para arquitetos projetistas e contratantes

Fonte: O Autor, (2019).

Com essa análise chegou-se à conclusão, conforme o Quadro 17, de quais tarefas são semelhantes/iguais, e quais são melhores detalhadas em cada um dos processos. Tendo com resultado que, 14 tarefas do processo AS-IS se tornaram 11 tarefas no processo TO-BE, sendo então o AS-IS mais detalhado neste quesito.

Quadro 17 Definição das tarefas equivalentes.

Recebimento do projeto arquitetônico e complementares Estudo dos projetos	→	Analisar o projeto existente
Estudo do modelo estrutural Definição do modelo estrutural	→	Definir estrutura
Pré-dimensionamento	→	Pré-dimensionar a estrutura
Desenho da estrutura	→	Alimentar dados para pré-dimensionamento
Verificação de interferência com arquitetônico	→	Compatibilizar o projeto estrutural com os demais projetos Compatibilizar o projeto estrutural com os demais projetos
Cálculo das fundações Análise dos desenhos da fundação	→	Preparar planta de cargas e documentação para projeto de fundação
Desenho e detalhamento da estrutura	→	Detalhar armadura para viga, pilares e lajes Detalhar armadura e detalhes de projeto
Desenho e detalhamento das fundações	→	Detalhar armadura de fundação
Emissão de projeto executivo de fundação Emissão do projeto executivo estrutural Envio para a obra	→	Preparar para mandar para mandar para construção

Fonte: O Autor, (2019).

Para essas tarefas que existem em um processo e são melhores detalhadas em outro (possuindo mais tarefas), será atribuído o valor de 0,5 para cada uma dessas tarefas excedentes. Logo, o processo TO-BE possui 2 tarefas a mais, sendo atribuído então o valor de 1 ponto e o processo AS-IS tem 5 tarefas a mais, sendo atribuído o valor de 2,5 pontos para este processo.

Quadro 18 Tarefa exclusivas de cada um dos processos.

Nº	Processo de Projeto AS-IS -Tarefas Exclusivas	Nº	Processo de Projeto TO-BE - Tarefas Exclusivas
1	Visita ao local de obra	1	Checar diagrama momento fletor e força cortante
2	Cálculo estrutural definitivo	2	Corrigir detalhes técnicos
3	Análise dos desenhos estruturais	3	Compatibilizar projeto com demais projetos

Fonte: O Autor, (2019).

O Quadro 18 mostra as tarefas exclusivas de cada um dos processos, ou seja, tarefas que só foram apresentadas naquele processo. Para as tarefas exclusivas será atribuído 1 ponto. Sendo assim o processo AS-IS ficou com 3 pontos e o processo TO-BE com 3 pontos.

Então para o critério de interoperabilidade de processos, o processo AS-IS encontra-se melhor detalhado com 5,5 pontos, comparado ao TO-BE com 4 pontos.

6.1.2.2 Processo Fase de Construção

Comparado as tarefas existentes nos dois processos da construção, para uma avaliação mais precisa, é notado que algumas tarefas pertencem exclusivamente ao processo da construção TO-BE, mostradas no Quadro 19, sendo estas “Atualizar o banco de dados e alimentar o modelo” e “Notificar atualização para arquitetos projetista e contratantes” que são tarefas inerentes da utilização do BIM.

Para uma comparação mais afinada do grau de detalhamento dos dois processos, é necessário deixá-los iguais, removendo essas tarefas, como é mostrado no Quadro 19, reduziu-se as tarefas do processo de construção TO-BE para 24, mesmo assim o processo ainda possui 33,33% a mais de tarefas.

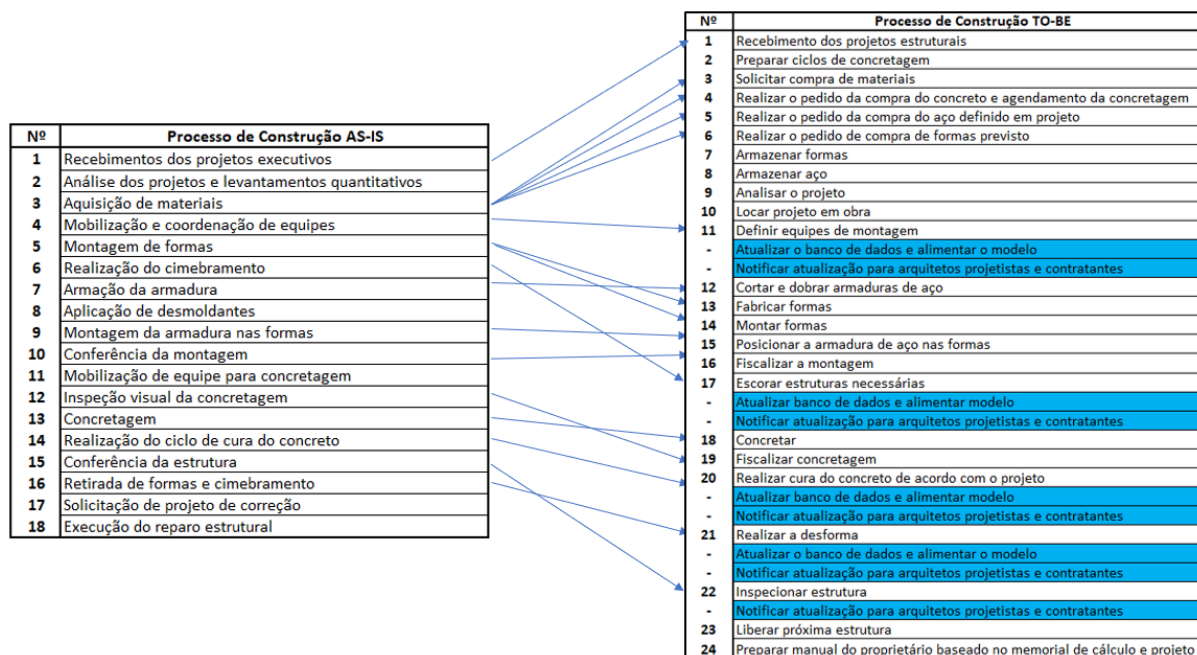
Quadro 19 Retirada das tarefas exclusivas do BIM para comparação.

Nº	Processo de Construção AS-IS	Nº	Processo de Construção TO-BE
1	Recebimentos dos projetos executivos	1	Recebimento dos projetos estruturais
2	Análise dos projetos e levantamentos quantitativos	2	Preparar ciclos de concretagem
3	Aquisição de materiais	3	Solicitar compra de materiais
4	Mobilização e coordenação de equipes	4	Realizar o pedido da compra do concreto e agendamento da concretagem
5	Montagem de formas	5	Realizar o pedido da compra do aço definido em projeto
6	Realização do cimebramento	6	Realizar o pedido de compra de formas previsto
7	Armação da armadura	7	Armazenar formas
8	Aplicação de desmoldantes	8	Armazenar aço
9	Montagem da armadura nas formas	9	Analisar o projeto
10	Conferência da montagem	10	Locar projeto em obra
11	Mobilização de equipe para concretagem	11	Definir equipes de montagem
12	Inspeção visual da concretagem	-	Atualizar o banco de dados e alimentar o modelo
13	Concretagem	-	Notificar atualização para arquitetos projetistas e contratantes
14	Realização do ciclo de cura do concreto	12	Cortar e dobrar armaduras de aço
15	Conferência da estrutura	13	Fabricar formas
16	Retirada de formas e cimebramento	14	Montar formas
17	Solicitação de projeto de correção	15	Posicionar a armadura de aço nas formas
18	Execução do reparo estrutural	16	Fiscalizar a montagem
		17	Escorar estruturas necessárias
		-	Atualizar banco de dados e alimentar modelo
		-	Notificar atualização para arquitetos projetistas e contratantes
		18	Concretar
		19	Fiscalizar concretagem
		20	Realizar cura do concreto de acordo com o projeto
		-	Atualizar banco de dados e alimentar modelo
		-	Notificar atualização para arquitetos projetistas e contratantes
		21	Realizar a desforma
		-	Atualizar o banco de dados e alimentar o modelo
		-	Notificar atualização para arquitetos projetistas e contratantes
		22	Inspecionar estrutura
		-	Notificar atualização para arquitetos projetistas e contratantes
		23	Liberar próxima estrutura
		24	Preparar manual do proprietário baseado no memorial de cálculo e projeto

Fonte: O Autor, (2019).

Então foi comparado, através do Quadro 20 as tarefas dos dois processos, para checar se é uma derivação das tarefas existentes ou são tarefas novas.

Quadro 20 Comparação das tarefas semelhantes.



Fonte: O Autor, (2019).

Com essa análise chegou-se à conclusão, do Quadro 21, de quais tarefas são semelhantes/iguais e quais são melhores detalhadas em cada um dos processos. Tendo com resultado que 13 tarefas do processo AS-IS se tornaram 17 tarefas no processo TO-BE, sendo este mais detalhado neste quesito.

Quadro 21 Definição das tarefas exclusivas de cada um dos dois processos.

Recebimentos dos projetos executivos	Recebimento dos projetos estruturais
Aquisição de materiais	Solicitar compra de materiais Realizar o pedido da compra do concreto e agendamento da concretagem Realizar o pedido da compra do aço definido em projeto Realizar o pedido de compra de formas previsto
Mobilização e coordenação de equipes	Definir equipes de montagem
Armação da armadura	Cortar e dobrar armadura de aço
Montagem de formas	Fabricar formas Montar formas
Realização do cimbramento	Escorar estruturas necessárias
Montagem da armadura nas formas	Posicionar a armadura de aço nas formas
Conferência da montagem	Fiscalizar a montagem
Inspeção visual da concretagem	Fiscalizar a concretagem
Concretagem	Concretar
Realização do ciclo de cura do concreto	Realizar cura do concreto de acordo com o projeto
Conferência da estrutura	Inspecionar estrutura
Retirar formas e cimbramento	Realizar a desforma

Fonte: O Autor, (2019).

Para essas tarefas que existem em um processo e são melhores detalhadas em outro (possuindo mais tarefas), será atribuído o valor de 0,5 para cada uma dessas tarefas excedentes. Logo, como o processo TO-BE possui 4 tarefas a mais que o outro, será atribuído o valor de 2 pontos para este processo.

Quadro 22 Definição das tarefas exclusivas de cada um dos dois processos.

Nº	Processo de Construção AS-IS -Tarefas Exclusivas	Nº	Processo de Construção TO-BE - Tarefas Exclusivas
1	Análise dos projetos e levantamentos quantitativos	1	Preparar ciclos de concretagem
2	Aplicação de desmoldantes	2	Armazenar formas
3	Mobilização de equipes para concretagem	3	Armazenar aço
4	Solicitação de projeto de correção	4	Analisar o projeto
		5	Locar projeto em obra
		6	Liberar próxima estrutura
		7	Preparar manual do proprietário baseado no memorial de cálculo e projeto

Fonte: O Autor, (2019).

O Quadro 22 mostra as tarefas exclusivas de cada um dos processos, ou seja tarefas que só foram apresentadas naquele processo. Para as tarefas exclusivas será atribuído 1 ponto. Sendo assim o processo AS-IS ficou com 4 pontos e o processo TO-BE com 7 pontos.

Então, para o critério de interoperabilidade de processos, o processo TO-BE encontra-se melhor detalhado com 9 pontos, comprado ao AS-IS com 4 pontos.

6.1.2.3 Processo Fase de Manutenção

Comparado as tarefas existentes nos dois processos da manutenção, para uma avaliação mais precisa, é notado que algumas tarefas pertencem exclusivamente ao processo da construção TO-BE, mostradas no Quadro 23 - sendo estas “Alimentar modelo e banco de dados” e todas as tarefas que dizem respeito a instalação de sensores e monitoramento destes, que neste caso são tarefas inerentes da utilização do BIM. A tarefa “Analisar o modelo e banco de dados” neste caso não foi considerado uma tarefa exclusiva do BIM, pois caso o processo AS-IS tivesse alguma tarefa referente a análise de projetos existentes seria considerada então um processo equivalente.

Logo para uma comparação mais afinada do grau de detalhamento dos dois processos, é necessário deixá-los igualados, removendo essas tarefas, como é mostrado no Quadro 23, ficou então igualado o número de tarefas dos processos.

Quadro 23 Retirada das tarefas exclusivas da utilização do BIM para comparação.

Nº	Processo de Manutenção AS-IS	Nº	Processo de Manutenção Corretiva TO-BE
1	Visita Técnica	1	Encaminhar ocorrência para equipe técnica
2	Elaboração de relatório técnico	2	Receber ocorrência
3	Resposta do relatório técnico	3	Analisar o modelo e banco de dados
4	Realização de ensaios de materiais	4	Vistoriar edifício
5	Elaboração de projeto de intervenção estrutural	5	Elaborar projeto de correção
6	Execução do projeto de manutenção	-	Alimentar modelo e banco de dados
7	Inspeção técnica da estrutura	6	Analisar modelos
8	Elaboração do relatório final	7	Reparar patologias de acordo com o projeto
9	Elaboração do manual de intervenções de manutenção	8	Vistoriar reparos feitos
		9	Notificar central de atendimento
		Nº	Processo de Manutenção Preventiva/Monitoramento TO-BE
		-	Analisar modelo
		-	Consultar banco de dados
		-	Definir locação de sensores
		-	Instalar sensores
		-	Monitorar sensores
		-	Vistoriar anomalia
		-	Alimentar modelo e banco de dados
		-	Analisar modelos
		-	Planejar correção
		10	Executar plano de correção
		11	Vistoriar correção

Fonte: O Autor, (2019).

Então foi comparado, através do Quadro 24, as tarefas dos dois processos, para checar se é uma derivação das tarefas existentes ou são tarefas novas.

Quadro 24 Comparação das tarefas semelhantes.

Nº	Processo de Manutenção AS-IS
1	Visita Técnica
2	Elaboração de relatório técnico
3	Resposta do relatório técnico
4	Realização de ensaios de materiais
5	Elaboração de projeto de intervenção estrutural
6	Execução do projeto de manutenção
7	Inspeção técnica da estrutura
8	Elaboração do relatório final
9	Elaboração do manual de intervenções de manutenção

Nº	Processo de Manutenção Corretiva TO-BE
1	Encaminhar ocorrência para equipe técnica
2	Receber ocorrência
3	Analisar o modelo e banco de dados
4	Vistoriar edifício
5	Elaborar projeto de correção
6	Alimentar modelo e banco de dados
7	Analisar modelos
8	Reparar patologias de acordo com o projeto
9	Vistoriar reparos feitos
10	Notificar central de atendimento

Nº	Processo de Manutenção Preventiva/Monitoramento TO-BE
1	Analisar modelo
2	Consultar banco de dados
3	Definir locação de sensores
4	Instalar sensores
5	Monitorar sensores
6	Vistoriar anomalia
7	Alimentar modelo e banco de dados
8	Analisar modelos
9	Planejar correção
10	Executar plano de correção
11	Vistoriar correção

Fonte: O Autor, (2019).

Com essa análise chegou-se à conclusão, do Quadro 25, de quais tarefas são semelhantes/iguais, e quais são melhores detalhadas em cada um dos processos. Tendo com resultado que 5 tarefas do processo AS-IS se tornaram 5 tarefas no processo TO-BE, sendo então equivalentes nessa análise.

Quadro 25 Definição das tarefas equivalentes.

Visita técnica	Vistoriar edifício
Elaboração de projeto de intervenção estrutural	Elaborar projeto de correção
Execução do projeto de manutenção	Reparar patologias de acordo com o projeto
Inspeção técnica da estrutura	Vistoriar reparos feitos
Elaboração do relatório final	Notificar central de atendimento

Fonte: O Autor, (2019).

Para essas tarefas que existem em um processo e são melhores detalhadas em outro (possuindo mais tarefas), será atribuído o valor de 0,5 para cada uma dessas tarefas excedentes. Logo, como as tarefas identificadas não possuem um melhor detalhamento nenhum dos processos obteve pontos.

Quadro 26 Definição das tarefas exclusivas de cada um dos processos.

Nº	Processo de Manutenção AS-IS -Tarefas Exclusivas
1	Elaboração de relatório técnico
2	Resposta do relatório técnico
3	Realização de ensaios de materiais
4	Elaboração do manual de intervenções de manutenção

Nº	Processo de Manutenção TO-BE - Tarefas Exclusivas
1	Encaminhar ocorrência para equipe técnica
2	Receber ocorrência
3	Analisar o modelo e banco de dados
4	Analisar modelos

Fonte: O Autor, (2019).

O Quadro 26 mostra as tarefas exclusivas de cada um dos processos, ou seja tarefas que só foram apresentadas naquele processo. Para as tarefas exclusivas será atribuído 1 ponto. Sendo assim o processo AS-IS ficou com 4 pontos e o processo TO-BE com 4 pontos.

Então, para o critério de interoperabilidade de processos, o processo AS-IS encontra-se melhor detalhado com 4 pontos, comparado ao TO-BE com 4 pontos.

6.1.2.4 Processo Fase de Demolição

Comparado as tarefas existentes nos processos de demolição, para uma avaliação mais precisa, é notado que algumas tarefas pertencem exclusivamente ao processo da construção TO-BE, mostradas no Quadro 27, sendo estas “Atualizar banco de dados alimentar o modelo” e “Atualizar banco de dados sobre a situação da demolição/desconstrução” que são tarefas inerentes da utilização do BIM.

Logo, para uma comparação mais afinada do grau de detalhamento dos dois processos é necessário deixá-los igualados, removendo essas tarefas, como é mostrado no Quadro 27, onde ficou igualado o número de tarefas dos processos.

Quadro 27 Remoção das tarefas exclusivas do BIM.

Nº	Processo de Demolição AS-IS	Nº	Processo de Demolição TO-BE
1	Visita técnica	1	Planejar demolição/desconstrução
2	Identificação do tipo de estrutura	2	Consultar modelo e banco de dados
3	Ensaio de Materiais	3	Analisar projeto estrutural
4	Relatório de prova de carga	4	Analisar impacto ambiental
5	Laudo técnico	5	Analisar impacto de vizinhança
6	Elaboração do estudo de viabilidade econômica	6	Elaborar projetos de demolição/desconstrução
7	Resposta do estudo de viabilidade	7	Envio do projeto para aprovação
8	Vistoria das edificações vizinhas	8	Recebimento da aprovação do projeto
9	Solicitações de licenças	9	Mobilizar equipes
10	Recebimento de licenças	-	Atualizar banco de dados alimentar o modelo
11	Determinação do método de desconstrução e demolição	10	Desconstruir estrutura
12	Serviço primários de proteção a pedestres	11	Demolir estrutura
13	Contratação de seguros	12	Separar materiais
14	Mobilização de equipes e maquinários	13	Limpar Local
15	Desconstrução	14	Destinar para utilização
16	Demolição	15	Desenvolver projeto de descarte
17	Recolhimento de resíduos	16	Destinar para aterro
		17	Destinar para reciclagem
		-	Atualizar banco de dados sobre a situação de demolição/desconstrução

Fonte: O Autor, (2019).

Então foi comparado, através do Quadro 28, as tarefas dos dois processos, para checar se é uma derivação das tarefas existentes ou são tarefas novas.

Quadro 28 Comparação das tarefas semelhantes.

Nº	Processo de Demolição AS-IS	Nº	Processo de Demolição TO-BE
1	Visita técnica	1	Planejar demolição/desconstrução
2	Identificação do tipo de estrutura	2	Consultar modelo e banco de dados
3	Ensaio de Materiais	3	Analisar projeto estrutural
4	Relatório de prova de carga	4	Analisar impacto ambiental
5	Laudo técnico	5	Analisar impacto de vizinhança
6	Elaboração do estudo de viabilidade econômica	6	Elaborar projetos de demolição/desconstrução
7	Resposta do estudo de viabilidade	7	Envio do projeto para aprovação
8	Vistoria das edificações vizinhas	8	Recebimento da aprovação do projeto
9	Solicitações de licenças	9	Mobilizar equipes
10	Recebimento de licenças	-	Atualizar banco de dados alimentar o modelo
11	Determinação do método de desconstrução e demolição	10	Desconstruir estrutura
12	Serviço primários de proteção a pedestres	11	Demolir estrutura
13	Contratação de seguros	12	Separar materiais
14	Mobilização de equipes e maquinários	13	Limpar Local
15	Desconstrução	14	Destinar para utilização
16	Demolição	15	Desenvolver projeto de descarte
17	Recolhimento de resíduos	16	Destinar para aterro
		17	Destinar para reciclagem
		-	Atualizar banco de dados sobre a situação de demolição/desconstrução

Fonte: O Autor, (2019).

Com essa análise chegou-se à conclusão, no Quadro 29, de quais tarefas são semelhantes/iguais e quais são melhores detalhadas em cada um dos processos. Tendo com resultado, 10 tarefas do processo AS-IS se tornaram 16 tarefas no processo TO-BE, sendo este então mais detalhado neste quesito.

Quadro 29 Definição das tarefas equivalentes.

Elaboração do estudo de viabilidade econômica	Planejar demolição/desconstrução
Identificação do tipo de estrutura	Consulta modelo e banco de dados Analisar projeto estrutural
Vistoria das edificações vizinhas	Analisar impacto de vizinhança
Solicitação de licenças	Envio do projeto para aprovação
Recebimento de licenças	Recebimento da aprovação do projeto
Determinação do método de desconstrução e demolição	Elaborar projetos de demolição/desconstrução
Mobilização de equipes e maquinários	Mobilizar equipes
Desconstrução	Desconstruir estrutura
Demolição	Demolir estrutura
Recolhimento de resíduos	Separar materiais Limpar local Destinar para utilização Desenvolver projeto de descarte Destinar para aterro Destinar para reciclagem

Fonte: O Autor, (2019).

Para essas tarefas que existem em um processo e são melhores detalhadas em outro (possuindo mais tarefas), será atribuído o valor de 0,5 para cada uma dessas tarefas excedentes. Logo como o processo TO-BE possui 6 tarefas a mais que o outro será atribuído o valor de 3 pontos para este processo.

Quadro 30 Definição das tarefas exclusivas de cada um dos processos.

Nº	Processo de Demolição AS-IS -Tarefas Exclusivas	Nº	Processo de Demolição TO-BE - Tarefas Exclusivas
1	Visita técnica	1	Analisar impacto ambiental
2	Ensaio de materiais	2	Analisar impacto de vizinhança
3	Relatório de prova de carga		
4	Lauda técnico		
5	Resposta do estudo de viabilidade		
6	Serviço primários de proteção e pedestres		
7	Construção de seguros		

Fonte: O Autor, (2019).

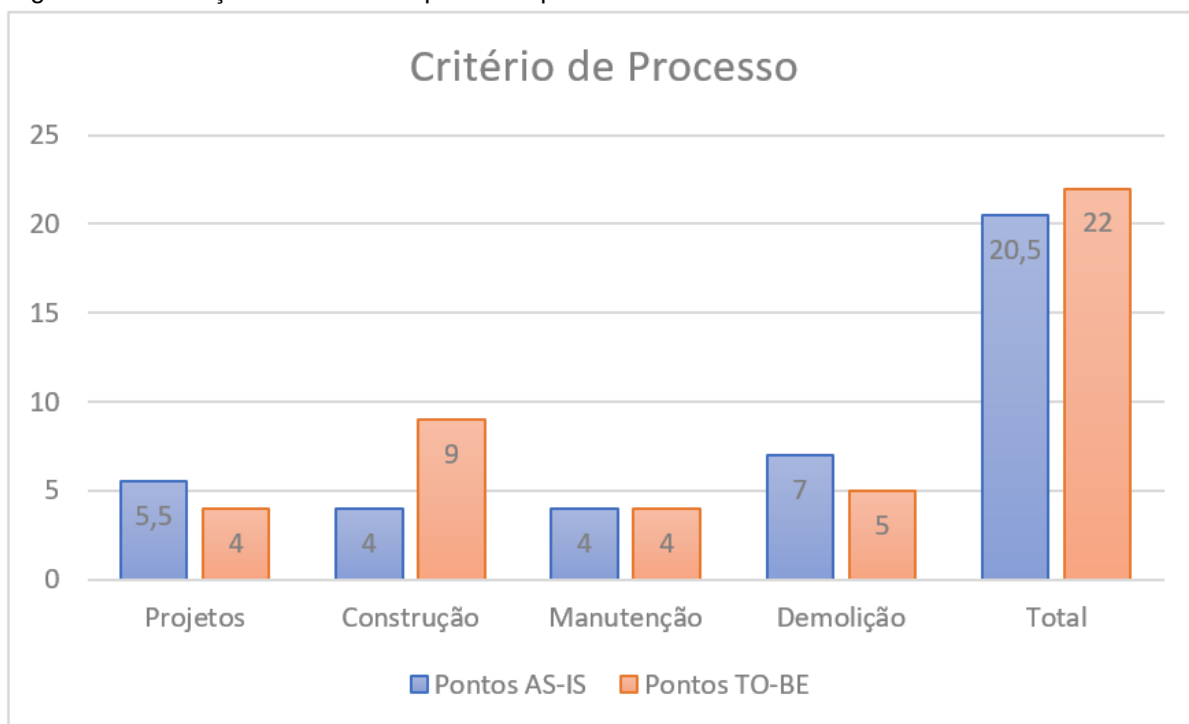
O Quadro 30 mostra as tarefas exclusivas de cada um dos processos, ou seja tarefas que só foram apresentadas naquele processo. Para as tarefas exclusivas será atribuído 1 ponto. A tarefa “Analisar impacto de vizinhança” foi considerada também como uma tarefa exclusiva devido a essa análise de vizinhança muito mais complexa, sendo que a vistoria das edificações vizinhas e apenas uma das etapas dessa análise. Sendo assim o processo AS-IS ficou com 7 pontos e o processo TO-BE com 2 pontos.

Então para o critério de interoperabilidade de processos, o processo AS-IS encontra-se melhor detalhado com 7 pontos, comparado ao TO-BE com 5 pontos.

6.1.2.5 Discussão dos Resultados

O resultado final das análises do critério de processo dos ciclos de vida AS-IS e TO-BE são mostradas na Figura 55, onde o ciclo AS-IS obteve 20,5 pontos e o processo TO-BE 22 pontos. Evidencia-se que a ciclo de vida com a utilização de BIM possui um processo melhor definido do que o sem a utilização do BIM, sendo este 7,32% melhor detalhado. Apesar do resultado encontrado apontar uma ligeira melhora no detalhamento dos processos utilizando o sistema BIM, a diferença é muito pequena para considerar um avanço, sendo os dois processos praticamente semelhantes em níveis de detalhamento.

Figura 55 Pontuação do critério de processo para os ciclos de vida AS-IS e TO-BE



Fonte: O Autor, (2019).

6.1.3 Critério da Perspectiva de Serviço

Como já explorado no tópico 3.8, o requisito de interoperabilidade de serviço utilizado para analisar o ciclo de vida de uma estrutura de concreto armado é, quando um agente interno ou externo do ciclo de vida precisa se comunicar com outro para obter uma informação, ao invés de buscá-lo diretamente em um serviço, como um banco de dados ou no caso dessa dissertação, o repositório BIM.

Nesse sentido será analisado quantas vezes os agentes precisam se comunicar com outros para obter informações em cada um dos dois ciclos de vida, onde quanto mais interações, pior a qualidade do critério de serviço. Não será contado a interação inicial e final dos processos, como por exemplo, pedido de demolição, contratação de construção, entrega de obra, finalização de manutenção, etc.

No Quadro 31 é feita a contagem de quantas vezes os agentes internos e externos do ciclo de vida do processo AS-IS precisaram se comunicar para obter uma informação. Este quadro apresenta quais são os agentes e qual é a informação trocada. Obteve-se 25 interações para obtenção de informação.

Quadro 31 Contagem da comunicação entre agentes para aquisição de informação.

Nº	Comunicação entre Agentes Projeto AS-IS		Informação Trocada
1	Engenheiro Estrutural	Contratante	Projeto arquitetônico e complementares
2	Engenheiro Estrutural	Contratante	Modelo estrutural
3	Empresa de sondagem	Engenheiro Estrutural	Relatório de sondagem
4	Engenheiro Estrutural	Analista de engenharia	Memória de cálculo
5	Engenheiro Estrutural	Contratante	Interferência com o arquitetônico
6	Engenheiro Estrutural	Analista de engenharia	Memória de cálculo
7	Engenheiro Estrutural	Analista de engenharia	Memória de cálculo

Nº	Comunicação entre Agentes Construção AS-IS		Informação Trocada
1	Engenheiro Civil	Projetista Estrutural	Projetos Executivo
2	Engenheiro Civil	Mestre de Obras	Cópia dos projetos executivos
3	Engenheiro Civil	Empresa de Análise tecnológicas	Pedido de análise de corpo de prova
4	Empresa de Análise tecnológicas	Engenheiro Civil	Relatório técnico do corpo de prova
5	Engenheiro Civil	Projetista Estrutural	Projeto de intervenção da estrutura

Nº	Comunicação entre Agentes Manutenção AS-IS		Informação Trocada
1	Proprietário	Engenheiro Civil	Manual do proprietário
2	Proprietário	Engenheiro Civil	Projetos estruturais e complementares
3	Engenheiro Civil	Proprietário	Relatório Técnico
4	Projetista estrutural	Proprietário	Projeto de intervenção e memoriais
5	Engenheiro Civil	Proprietário	Relatório Final
6	Engenheiro Civil	Proprietário	Manual de intervenções de manutenção

Nº	Comunicação entre Agentes Demolição AS-IS		Informação Trocada
1	Proprietário	Responsável técnico	Projeto estrutural
2	Laboratório	Responsável técnico	Relatório de prova de carga
3	Administrativo	Proprietário	Estudo de viabilidade econômica
4	Proprietário	Administrativo	Resposta do estudo de viabilidade econômica
5	Responsável Técnico	Orgão publico/Secretaria de obras	Solicitação de licenças
6	Responsável Técnico	Orgão publico/Secretaria de obras	Recebimento de licenças
7	Equipe de demolição	Empresa de recolhimento de resíduos	Recolhimento de resíduos

Fonte: O Autor, (2019).

No Quadro 32 é feita a contagem de quantas vezes os agentes internos e externos do ciclo de vida do processo TO-BE precisaram se comunicar para obter uma informação. Este quadro apresenta quais são os agentes e qual é a informação trocada.

Quadro 32 Contagem da comunicação entre agentes para aquisição de informações.

Nº	Comunicação entre Agentes Projeto TO-BE		Informação Trocada
-	-	-	-

Nº	Comunicação entre Agentes Construção TO-BE		Informação Trocada
-	-	-	-

Nº	Comunicação entre Agentes Manutenção TO-BE		Informação Trocada
1	Central de atendimento	Engenheiro	Ocorrência
2	Engenheiro	Central de atendimento	Notificar central de atendimento
3	Administração	Engenheiro	Instruções para elaboração do plano de manutenção

Nº	Comunicação entre Agentes Demolição TO-BE		Informação Trocada
1	Cliente	Empresa de demolição	Solicitação de demolição
2	Engenheiro de demolição	secretaria municipal de meio ambiente/urbanismo	Enviar projeto para aprovação

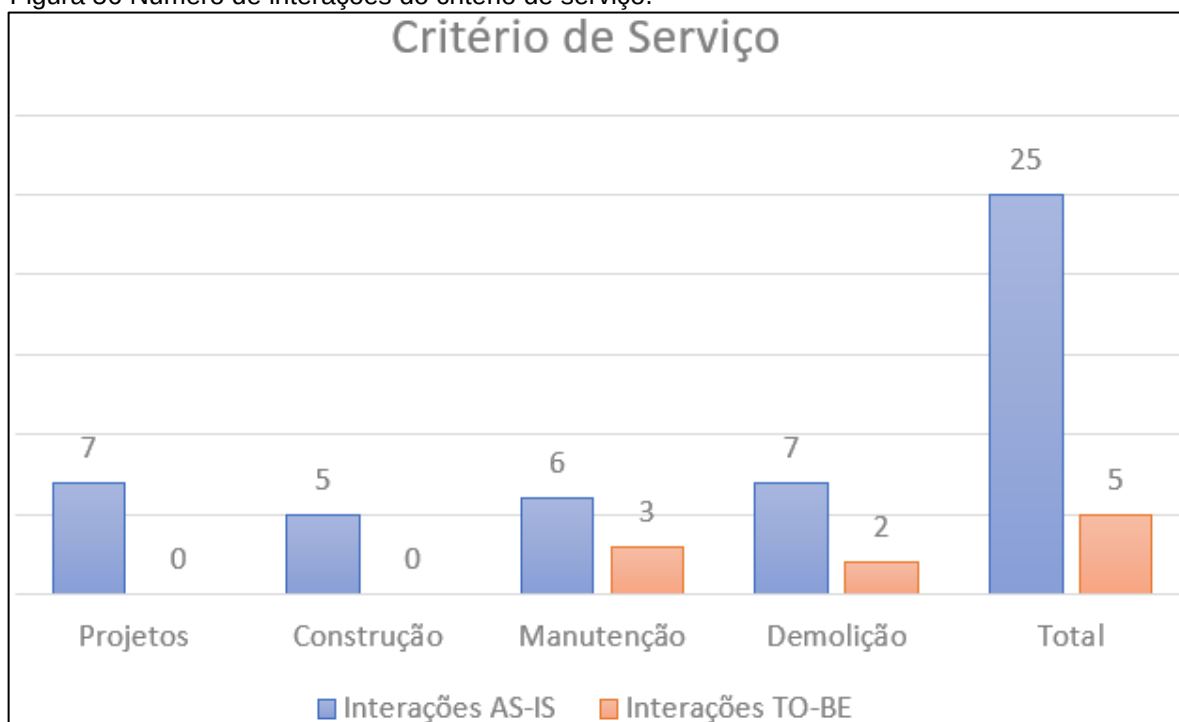
Fonte: O Autor, (2019).

Então, contando quantas vezes houve essa comunicação para obtenção de informação, houveram 5 interações.

6.1.3.1 Discussão dos Resultados

O resultado final da avaliação da interoperabilidade de serviço dos dois ciclos de vida é mostrado na Figura 56, onde o ciclo de vida AS-IS teve 25 interações para obter informações e o ciclo de vida TO-BE teve 5 interações apenas. Isso mostra que, no quesito de serviço a utilização do BIM melhora em 5 vezes a interoperabilidade. Esse resultado era esperado visto que um dos grandes atrativos do BIM é dar um suporte de serviço a todo o ciclo de vida, onde cada participante pode utilizar o modelo para extrair as informações que precisarem.

Figura 56 Número de interações do critério de serviço.



Fonte: O Autor, (2019).

6.1.4 Critério da Perspectiva de Informação

Com base no que foi explicado no tópico 3.9, sobre requisito de informação, o critério de avaliação utilizado para esta análise é a quantidade de documentos fragmentados gerados. São enumerados quantos documentos são criados ao longo dos dois ciclos de vida, sendo que a atualização de um documento não será considerada como a criação de um novo, pois assim não está ocorrendo a fragmentação comentada pelos autores citados no tópico 3.9. Os quadros a seguir mostram a quantidade de documentação gerada em cada um dos processos do ciclo de vida AS-IS e TO-BE. Não será considerado documentação gerada indicações como solicitações, ocorrências e pedidos.

6.1.4.1 Documentos Gerados na Fase de Projeto

O Quadro 33 mostra a diferença de documentação gerada entre os processos AS-IS e TO-BE. Neste caso, enquanto no processo tradicional são criados 10 documentos, o processo com a utilização de BIM gera apenas 2 documentos, sendo

o projeto arquitetônico recebido e o repositório BIM. Logo, a redução da fragmentação de informação nesta etapa é de 5 vezes.

Quadro 33 Número de documentos gerados na etapa de projeto AS-IS e TO-BE.

Nº	Processo de Projeto AS-IS - Documentos Gerados	Nº	Processo de Projeto TO-BE - Documentos Gerados
1	Projeto arquitetônico e complementares	1	Projeto Arquitetônico
2	Características do local	2	Repositório BIM
3	Modelo estrutural		
4	Memória de cálculo		
5	Relatório de sondagem		
6	Verificação de interferência com o arquitetônico		
7	Memória de cálculo		
8	Memória de cálculo		
9	Projeto de fundação		
10	Projeto estrutural		

Fonte: O Autor, (2019).

6.1.4.2 Documentos Gerados na Fase de Construção

O Quadro 34 mostra a diferença de documentação gerada entre os processos AS-IS e TO-BE. Neste caso, enquanto no processo tradicional são criados 4 documentos, o processo com a utilização de BIM gera apenas 2 documentos, que são o projeto estrutural recebido e o repositório BIM. Logo, a redução da fragmentação de informação nesta etapa é de 2 vezes.

Quadro 34 Número de documentos gerados dentro dos processos de construção A-IS e TO-BE.

Nº	Processo de Construção AS-IS - Documentos Gerados	Nº	Processo de Construção TO-BE - Documentos Gerados
1	Projeto Executivo	1	Projetos Estruturais
2	Cópia do projeto executivo	2	Repositório BIM
3	Relatório técnico do corpo de prova		
4	Projeto de intervenção estrutural		

Fonte: O Autor, (2019).

6.1.4.3 Documentos Gerados na Fase de Manutenção

O Quadro 35 mostra a diferença de documentação gerada entre os processos AS-IS e TO-BE. Neste caso, enquanto no processo tradicional são criados 6 documentos, o processo com a utilização de BIM gera 2 documentos, que são as instruções para elaboração do plano de manutenção e o repositório BIM. Logo, a redução da fragmentação de informação nesta etapa é de 3 vezes.

Quadro 35 Número de documentos gerados dentro dos processos de manutenção AS-IS e TO-BE.

Nº	Processo de Manutenção AS-IS - Documentos Gerados	Nº	Processo de Manutenção TO-BE - Documentos Gerados
1	Manual do proprietário	1	Repositório BIM
2	Projeto estruturais e complementares	2	Instruções para elaboração do plano de manutenção
3	Relatório técnico		
4	Projeto de intervenção e memoriais		
5	Relatório final		
6	Manual de intervenções de manutenção		

Fonte: O Autor, (2019).

6.1.4.4 Documentos Gerados na Fase de Demolição

O Quadro 36 mostra a diferença de documentação gerada entre os processos AS-IS e TO-BE. Neste caso, enquanto no processo tradicional são criados 7 documentos, o processo com a utilização de BIM gera 2 documentos, que são o projeto para aprovação e o repositório BIM. Logo, a redução da fragmentação de informação nesta etapa é de 3,5 vezes.

Quadro 36 Número de documentos gerados dentro dos processos de demolição AS-IS e TO-BE.

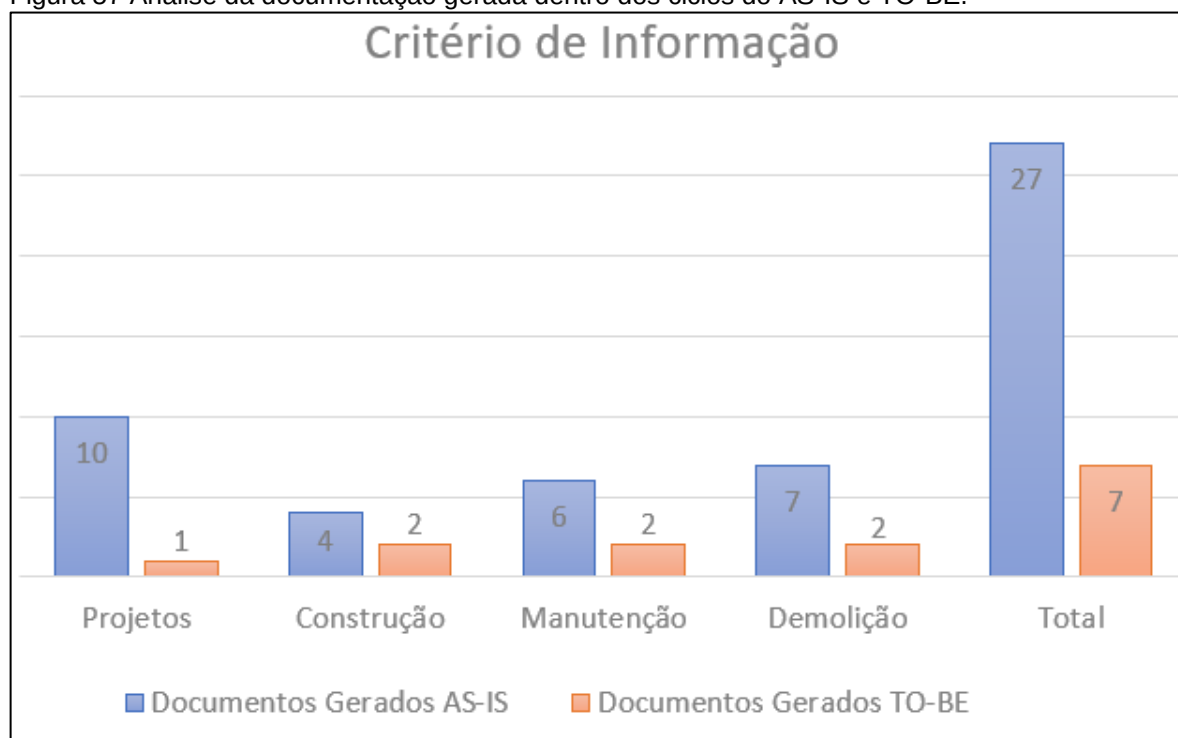
Nº	Processo de Demolição AS-IS - Documentos Gerados	Nº	Processo de Demolição TO-BE - Documentos Gerados
1	Projeto estrutural	1	Projeto para aprovação
2	Relatório de prova de carga	2	Repositório BIM
3	Laudo técnico		
4	Estudo de viabilidade econômica		
5	Solicitação de licenças		
6	Licenças		
7	Recolhimento de resíduos		

Fonte: O Autor, (2019).

6.1.4.5 Discussão dos Resultados.

Após toda a análise de documentação gerada ao longo dos ciclos de vida tradicional e com a utilização de BIM, chegou-se ao resultado de 30 documentos no processo AS-IS e 9 documentos gerados no processo TO-BE, como demonstrado na Figura 57. É possível perceber uma redução da fragmentação da informação em 3,33 vezes, sendo esse resultado também esperando assim com o de interoperabilidade de serviço, visto que um dos principais motivos da utilização do BIM é essa união de informação de todo o processo em um único modelo.

Figura 57 Análise da documentação gerada dentro dos ciclos do AS-IS e TO-BE.

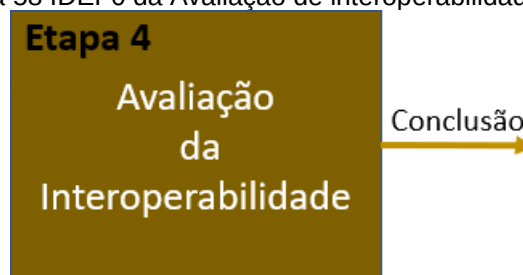


Fonte: O Autor, (2019).

6.2 DISCUSSÃO GERAL DA AVALIAÇÃO

Ao final das avaliações dos processos dos ciclos de vida AS-IS e TO-BE, realizadas pelos critérios de interoperabilidade apresentados, foi concluído a última etapa desta dissertação, conforme representada na Figura 58. Sendo concluído também o último objetivo específico proposto, a avaliação da dimensão de interoperabilidade com os requisitos propostos.

Figura 58 IDEF0 da Avaliação de interoperabilidade.



Fonte: O Autor, (2019).

A síntese dos resultados obtidos pelas avaliações, está representada pelo Quadro 37. Os critérios quantitativos de Negócios e Processos apresentados nesse

trabalho, são melhores quanto maior o resultado encontrado, ou seja, quanto mais tarefas aderentes a norma e quanto mais detalhado os processos melhor é a interoperabilidade.

Porém, quando analisados os critérios quantitativos de Serviço e Informação, são melhores quanto menor os resultados encontrados, ou seja, quanto menor a quantidade de interação entre os agentes em buscar informação e quanto menos informação fragmentada existir no processo melhor é a interoperabilidade.

Como é possível observar no Quadro 37, o processo do ciclo de vida TO-BE, conseguiu melhores resultados em todos os critérios avaliados.

Quadro 37 Conclusão da avaliação de interoperabilidade.

Conclusão da Avaliação da Interoperabilidade		
Critérios	Ciclo de vida AS-IS	Ciclo de vida TO-BE
Negócios	15	24
Processo	20,5	22
Serviço	17	6
Informação	30	9

Fonte: O Autor, (2019).

Para poder quantificar quão mais interoperável é o processo TO-BE em relação ao processo AS-IS, devido aos critérios possuírem grandezas diferentes, é necessário normalizar os resultados obtidos. Para isso foi encontrado a porcentagem de melhoria de um processo em relação ao outro, sendo os resultados descritos no Quadro 38, com os somatórios das proporções calculadas.

Quadro 38 Normalização dos resultados.

Normalização dos Resultados		
Critérios	AS-IS - Melhoria da Interoperabilidade em relação ao TO-BE	TO-BE - Melhoria da Interoperabilidade em relação ao AS-IS
Negócios	-38%	60%
Processo	-7%	7%
Serviço	-65%	183%
Informação	-70%	233%
TOTAL	-179%	484%

Fonte: O Autor, (2019).

Com isso obteve-se o resultado de que o processo TO-BE é 484% mais interoperável que o processo AS-IS, sendo esse 179% menos interoperável.

7 CONCLUSÃO

Essa dissertação teve como objetivo principal avaliar a interoperabilidade dos ciclos de vida de uma estrutura de concreto armado AS-IS e TO-BE, sob a ótica de seus processos. Para isso o trabalho teve dois esforços, um foi na realização das modelagens dos processos AS-IS e TO-BE e outro na pesquisa de requisitos de interoperabilidade que pudessem se tornar critérios de avaliação.

Para a modelagem do processo AS-IS procurou-se retratar um processo mais próximo da realidade praticada nas empresas. Para tal, as folhas de tarefas foram um instrumento adequado para o mapeamento dessas tarefas. Já no processo TO-BE, devido à escassez de empresas que trabalham utilizando BIM em todos os seus processos, foi utilizado a metodologia Delphi para poder afinar os processos preliminares modelados, junto a estudiosos da área.

Apesar desses processos modelados tomarem por base uma amostra pequena de entrevistas, apenas 4 empresas para o processo AS-IS e 5 especialistas para o processo TO-BE, é interessante observar algumas perspectivas. Os processos modelados do AS-IS foram modelados exclusivamente com as informações prestadas nas empresas e os processos TO-BE tiveram o apoio da literatura e de especialistas. Quando, entretanto, foram avaliados pelo requisito de processo, que mede o detalhamento dos processos, houve apenas uma diferença de 7%, conforme mostrado pelo Quadro 38. Ou seja, os processos tem praticamente o mesmo nível de detalhamento de tarefas. Com isso, houve uma ligeira melhora no ganho de interoperabilidade no requisito processo com a utilização de BIM nessa avaliação realizada.

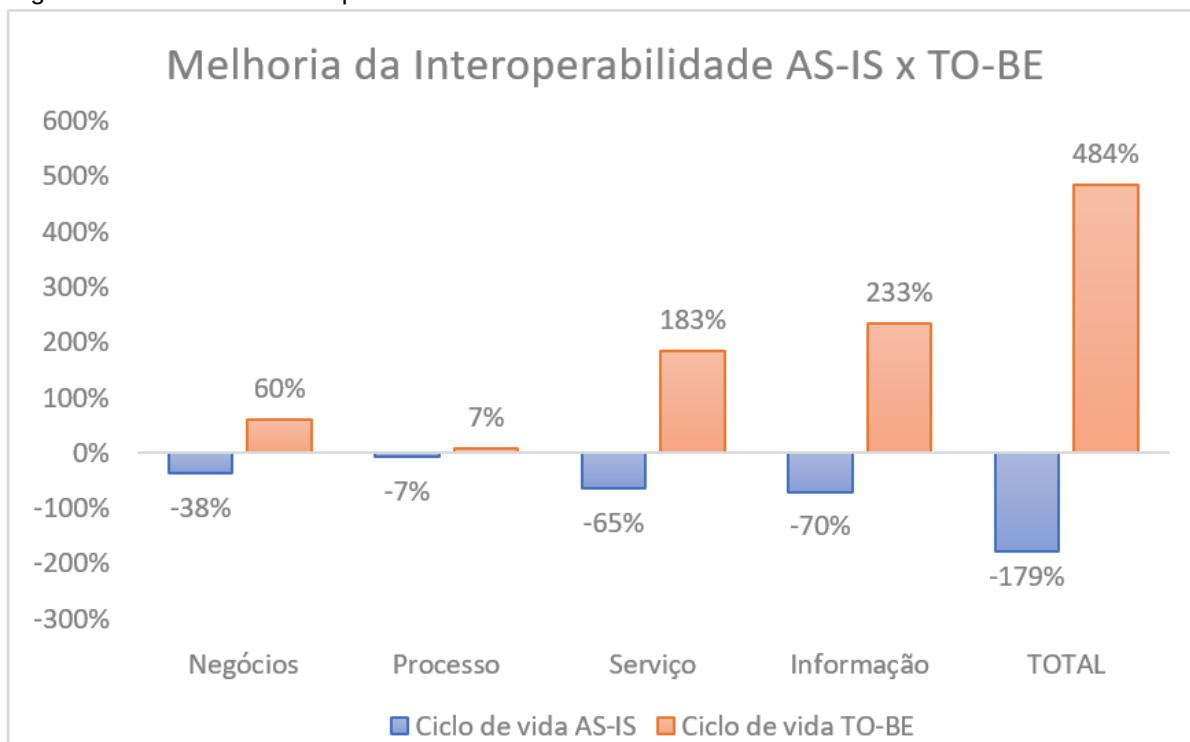
Ainda sobre a modelagem para o processo TO-BE, esperava-se que os especialistas entrevistados apontassem mais características diferentes dentro do processo com a utilização do BIM, sendo que o único ponto ressaltado nesse sentido foi a inclusão de um BIM Manager dentro do processo de projeto, onde este tem a função de coordenar e compatibilizar os projetos dentro do BIM. Nas demais fases do ciclo de vida, a representação do BIM nos processos é praticamente a de agregar as informações através do repositório BIM.

Isso mostra que ainda existe pouca diferença nos requisitos de processo e negócios, entre o processo tradicional e o processo com a utilização de BIM. Este é o diagnóstico mostrado por essa dissertação.

O diferencial do BIM, conforme mostrado pelas avaliações, está na sua capacidade de reunir informações de todos os envolvidos no processo, representado pelo repositório BIM. Isso faz com que se reduza muito a quantidade de documentação fragmentada ao longo desse ciclo de vida, que é um dos problemas de interoperabilidade apresentados na problemática dessa dissertação.

Com isso é notado uma melhora muito grande no requisito de interoperabilidade de serviço e informação, conforme mostrado na Figura 59, sendo 183% e 233% de melhoria respectivamente. Essa conclusão, apesar de explicitar essa grande vantagem do BIM em relação ao processo tradicional, esse resultado já era esperado, visto que Eastman (2011) considera esse um dos grandes trunfos de utilizar o BIM na construção civil, o fato de poder modelar o projeto de tal forma que a maquete virtual seja uma representação fiel do que será executado.

Figura 59 Melhoria da interoperabilidade AS-IS x TO-BE.



Fonte: O Autor, (2019).

Logo, os resultados dessa dissertação conduzem à conclusão, mostrada na Figura 59, que o processo utilizando BIM é 484% mais interoperável que o processo

tradicional, mostrando que de fato o BIM é uma mudança significativa pro setor da AEC, no tocante aos seus processos.

A metodologia aplicada por esse estudo não se restringe a estruturas de concreto armado, podendo ser utilizada para avaliar o ciclo de vida de qualquer componente da AEC que tenha amparo em normas técnicas.

Como sugestão para trabalhos futuros, elenca-se as seguintes possibilidades:

- i. Aumentar o número de entrevistas dos processos AS-IS e TO-BE para revelar se o diagnóstico apresentado se repete quando aumentado as amostras.
- ii. Avaliar a interoperabilidade de outros componentes da AEC, sob óticas diferentes, como por exemplo de negócios, serviços e informação, levantando requisitos segundo a metodologia apresentada nesta dissertação.
- iii. Com base na abordagem realizada, fundamentada no FEI (Framework for Enterprise Interoperability), propor um modelo de avaliação de maturidade para o setor.
- iv. Identificar as fraquezas de interoperabilidade encontradas nesses processos, para propor melhorias ou até montar um processo para servir de padrão para as empresas do ciclo de vida de estrutura de concreto armado.

REFERENCIAL TEÓRICO

ABCP – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND, **Norma de Projeto de Estruturas de Concreto é reconhecida internacionalmente**. Disponível em <<https://www.abcp.org.br/cms/imprensa/banco-de-pautas/norma-de-projeto-de-estruturas-de-concreto-e-reconhecida-internacionalmente-2/>> acesso em 24 de Outubro de 2018.

ABDELHADY, I. A. I. A New Business Process Model for Enhancing BIM Implementation in Architectural Design. Tese apresentada a **Virginia Polytechnique Institute and State University**, 300 p. 2013.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2004). NBR 14931 - Execução de Estruturas de Concreto - Procedimento, 53.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2014). NBR 6118 - Projeto de estruturas de concreto — Procedimento, 233.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2012). NBR 5674 - Manutenção de edificações — Requisitos para o sistema de gestão de manutenção. 27.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2011). NBR 14037 – Diretrizes para elaboração de manuais de uso, operação e manutenção das edificações — Requisitos para elabora e apresentação. 22.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. (1977). NBR 5682 – Contratação, execução e supervisão de demolições — Procedimento. 41.

ALEMANY, M. M. E., ALARCÓN, F., LARIO, F. C., & POLER, R. Conceptual Framework for the Interoperability Requirements of Collaborative Planning Process, **Research Centre on Production Management and Engineering (CIGIP)**, 2010.

AMARILLA, D. S. R. **Identificação E Análise Dos Processos De Negócio De Empresas De Pequeno Porte Do Setor Da Construção Civil**, Dissertação de Mestrado, Universidade Tecnológica do Paraná, p. 159, 2013.

ARAM, S.; EASTMAN, C.; SACKS, R. Requirements for BIM platforms in the concrete reinforcement supply chain. **Automation in Construction**, v. 35, p. 1–17, 2013.

ATKINSON, R. Project Management: cost, time and quality, two best guesses and a phenomenon, its time to accept other success criteria. **International Journal of Project Management**, 337-342. 1999.

AUSTRALIAN GOVERNMENT – DEPARTMENT OF JUSTICE AND ATTORNEY GENERAL, **Demolition Work**, 2013.

AUSTRALIAN GOVERNMENT – DEPARTMENT OF FINANCE AND ADMINISTRATION, **The Australian Government Business Process Interoperability Framework**. p. 6-8. 2007.

AVELLA, J. R. Delphi panels: Research design, procedures, advantages, and challenges. **International Journal of Doctoral Studies**, v. 11, p. 305–321, 2016.

BOTELHO, H. M.; MARCHETTI, O. Concreto Armado eu Te Amo. 3ª Edição, Volume 2. 2011.

BRITISH STANDARD. **BS 6187:2011 Code of practice for full and partial demolition**. p. 160, 2011.

BRYDE, D.; BROQUETAS, M.; VOLM, J. M. The project benefits of building information modelling (BIM). **International Journal of Project Management**, v. 31, n. 7, p. 971–980, 2013.

CARVALHO, H. J. S.; SCHEER, S. a Utilização De Modelos Bim Na Gestão De Resíduos De Construção E Demolição. **Anais do VII Encontro de Tecnologia de Informação e Comunicação na Construção - Edificações, Infra-estrutura e Cidade: Do BIM ao CIM**, Novembro 2015, p. 245–255, 2015.

CESTARI, J. M. A. P.; LOURES, E. DE F. R.; SANTOS, E. A. P. A Method to Diagnose Public Administration Interoperability Capability Levels Based on Multi-Criteria Decision-Making. **International Journal of Information Technology & Decision Making**, v. 17, n. 01, p. 209–245, 2018.

CHEN, D.; DACLIN, N. **Framework for Enterprise Interoperability**. In Proc. of IFAC Workshop EI2N, p. 77-88; Bordeaux, 2006.

CHINOSI, M.; TROMBETTA, A. BPMN: An introduction to the standard. **Computer Standards and Interfaces**, v. 34, n. 1, p. 124–134, 2012.

CHITUC, C. M.; AZEVEDO, A.; TOSCANO, C. (2009) **A framework proposal for seamless interoperability in a collaborative networked environment**, Comput. Ind. 60(5): 317-338.

CHO, Y. S.; LEE, S. IL; BAE, J. S. Reinforcement placement in a concrete slab object using structural building information modelling. **Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering**, v. 29, n. 1, p. 47–59, 2014.

COELHO, S. S.; NOVAES, C. C. Modelagem de Informações para Construção (BIM) e ambientes colaborativos para gestão de projetos na construção civil. **Building Information Modeling (BIM) and collaboration systems for civil engineering design management**, p. 1–7, 2008.

CURRY, E.; O'DONNELL, J.; CORRY, E.; et al. Linking building data in the cloud: Integrating cross-domain building data using linked data. **Advanced Engineering Informatics**, v. 27, n. 2, p. 206–219, 2013.

DONG, B.; O'NEILL, Z.; LI, Z. A BIM-enabled information infrastructure for building energy Fault Detection and Diagnostics. **Automation in Construction**, v. 44, n. August, p. 197–211, 2014.

DOYLE, H. J., Kraut, R., & Levine, M.. **Computer Integration: Reducing Fragmentation in AEC Industry**. Genes & Development, 3(10), 1518–1533., 1989.

EASTMAN, C. M.; EASTMAN, C.; TEICHOLZ, P.; SACKS, R. **BIM handbook: A guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors**. John Wiley & Sons, 2011.

ESMANIOTO, M. F., HUBER, M. H. N. **Compatibilização de Projetos Através de BIM**. Trabalho de conclusão de curso apresentada a Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Curitiba. 2014.

FABRICIO, M. M. **Projeto Simultâneo na construção de edifícios**, Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, p. 351, 2002.

FREIRE, T. M. **Produção de estruturas de concreto armado, moldadas in loco, para edificações: caracterização das principais tecnologias e formas de gestão adotadas** em São Paulo. 2001. 325p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2001.

GARVIN, D. A. **What does Product Quality Really Mean?** In: Management Review, 1994 (p.25-43).

GEHBAUER, F.; EGGENSBERGER, M.; ALBERTI, M.; NEWTON, S. **Planejamento e Gestão de Obras: Um Resultado Prático da Cooperação Técnica Brasil-Alemanha**. Curitiba: CEFET-PR, 2002.

HAMIDI, B.; BULBUL, T.; PEARCE, A.; THABET, W. **Potential application of BIM in cost-benefit analysis of demolition waste management**. Construction Research Congress 2014: Construction in a Global Network, p. 279-288, 2014.

HAUBMANN, P. R. M. **Gestão estratégica de operações: desenvolvimento de uma metodologia para diagnóstico de processos em sistemas de produção**. Dissertação de Mestrado, Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Apêndice D, 2008.

HENCHION, M.; MCINTYRE, B. Market access and competitiveness issues for food SMEs in Europe's lagging rural regions (LRRs). **British Food Journal**, v. 107, n. 6, p. 404–422, 2005.

HERTOGH, M., & WESTERVELD, E. (2010). Playing With Complexity. Management and Organisation of Large Infrastructure Projects. World, 377. 2010.

HOWARD, C. H.; Levitt E. R.; POLSON C. B.; POHL G. J. Computer Integration: reducing fragmentation in AEC industry, **Journal of Computing in Civil Engineering**. 18-32,1989.

HOWARD, R. Describing the Changes in Architectural Information Free-Form Architectural Expression. **ITcon**, v. 11, n. January, p. 395–408, 2006.

ISO/IEC 33001:2015 Information technology-process assessment-concepts and terminology. Genève: **International Organization for Standardization**, 2015.

KINNEAR, T. C.; TAYLOR, J R. Marketing research: an applied approach. **McGraw-Hill Companies**, 1987.

KOO B., FISCHER M., Feasibility study of 4D CAD in commercial construction, **Journal of Construction Engineering and Management**. 2000. 251–260.

LAAKSO, K.; RUBIN, A.; LINTURI, H. The role of regulation in the mobile operator business in Finland. **Foresight**, v. 14, n. 2, p. 154–167, 2012.

LEE, Y.-C.; EASTMAN, C. M.; LEE, J.-K. Validations for ensuring the interoperability of data exchange of a building information model. **Automation in Construction**, v. 58, p. 176–195, 2015.

LINSTONE, H. A.; TUROFF, M. The Delphi Method - Techniques and Applications. **The Delphi method - Techniques and applications**, p. 1–616, 2002.

LIU, Z.; ZHANG, F.; ZHANG, J. The Building Information Modeling and its Use for Data Transformation in the Structural Design Stage. v. 19, n. 3, p. 273–284, 2016.

LUITEN, G. T., TOLMAN, F. P., & FISCHER, M. A. (1998). Project-modelling in AEC to integrate design and construction. **Computers in Industry**, 35(1), 13–29, 1998.

MARTINS, M. S. A. Diretrizes para o Planejamento de uma Demolição Sustentável em Edifícios. Dissertação apresentada a **Universidade de São Paulo**, São Paulo, 2017. 209 p.

MATTOS, et al. **Gestão Integrada de Processos e da Tecnologia da Informação**. São Paulo: Atlas, 2006.

MCCORMAC, J. C.; BROWN, R. H. **Design of Reinforced Concrete (ACI)**. 2012.

MELHADO, S. B. Qualidade do projeto na construção de edifícios: aplicação ao caso das empresas de incorporação e construção. Dissertação apresentada **Universidade de São Paulo**, São Paulo. 1994.

MULLER, M. F.; GARBERS, A.; ESMANIOTO, F.; et al. Data interoperability assessment through IFC for BIM in structural design – a five-year gap analysis. **Journal of Civil Engineering and Management**, v. 23, n. 7, p. 943–954, 2017.

NBIMS – National Building Information Modeling Standard. **Overview, Principles and Methodologies**, Version 1.0 — Part 1, 2007. Disponível em: <http://www.wbdg.org/pdfs/NBIMSV1_p1.pdf>. Acesso em: 07/10/2018.

NGUYEN, T. H.; SHEHAB, T.; GAO, Z. Evaluating sustainability of architectural designs using building information modeling. **Open Construction and Building Technology Journal**, v. 4, p. 1–8, 2010.

NUMMELIN, J.; SULANKIVI, K.; KIVINIEMIS, S. Managing Building Information and Client Requirements in Construction Supply Chain – Constructor’s View. **Proceedings of the CIB W78-W102**, 2011.

OBJECT MANAGEMENT GROUP, **Business Process Model and Notation (BPMN)**, disponível em <<https://www.omg.org/spec/BPMN/2.0/#specification-metadata>> acesso em 5 de Abril de 2018.

OLIVEIRA, J. O. Modelo de Gestão para Pequenas Empresas de Projeto de Edifícios, Tese de Doutorado, **Universidade de São Paulo**, p. 279, 2005.

OWEN, B. M.; RAJ, J. BPMN and Business Process Management Introduction to the New Business Process Modeling Standard. **Management**, v. 2678, p. 27, 2003.

PAVANI Jr. Orlando; SCUCUGLIA, Rafael. **Mapeamento e Gestão por Processos – BPM (Business Process Management)**. São Paulo: M. Books Editora Ltda, 2011.

PEDROSO, L. F. Concreto: as origens e a evolução do material construtivo mais usado pelo homem. **IBRACON**, v. 53, n. C, p. 14–19, 2009.

PINTO, A. Estudo da percepção dos profissionais de engenharia e arquitetura quanto à importância do gerenciamento de projetos para a construção civil. Tese (Doutorado) – **Universidade Federal Fluminense**, 2012

SEARS, S. K.; SEARS, G. A.; CLOUGH, R. H.; ROUNDS, J. L.; SEGNER, R. O. **Construction project management**. John Wiley & Sons, 2015.

SEBRAE – Serviço Brasileiro de Apoio às Micros e Pequenas Empresas. **Critérios e Conceitos para a Classificação de Empresas**, 2013.

SHEN, W., HAO, Q., & XUE, Y. A loosely coupled system integration approach for decision support in facility management and maintenance. **Automation in Construction**, 25, 41–48. 2012.

SMITH, DANA K, AND TARDIF, MICHAEL. **Building Information Modeling: A Strategic Implementation Guide for Architects, Engineers, Constructors, and Real Estate Managers**, John Wiley & Sons, New Jersey. 2009.

SOUSA, A. M. DE. Gerenciamento de Tempo, Custos, Recursos Humanos e Aquisições na construção civil: estudo de caso. **Encontro Nacional de Engenharia de Produção**, 2009.

SUCCAR, B. Building information modelling framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders. **Automation in Construction**, v. 18, n. 3, p. 357–375, 2009.

TAKEDA, H ; VEERKAMP, P ; TOMIYAMA, T ; YOSHIKAWA, H. Modeling Design Process. **AI Magazine**, v. 11, n. 4, p. 37-48, 1990

THEILER, M.; SMARSLY, K. IFC Monitor – An IFC extension for modelling structural health monitoring systems. **Advanced Engineering Informatics (submitted)**, v. 37, 2018

VERNADAT, F. **Enterprise Integration and Interoperability**. Handbook of Automation p. 1529-1539, 2009.

VOLK, R., STENGEL, J.; SCHULTMANN, F. Building Information Modeling (BIM) for existing buildings—Literature review and future needs. **Automation in construction**, n. 38, p. 109-127, 2014.

VOLKOV, A.; CHELYSHKOV, P.; LYSENKO, D. Information Management in the Application of BIM in Construction. Stages of Construction. **Procedia Engineering**, v. 153, p. 833–837, 2016.

XU, H., KOH, L., & PARKER, D. Production Economics Business processes inter-operation for supply network co-ordination. Intern. **Journal of Production Economics**, 122(1), 188–199. 2009.

WANG, H.; ZHAI, Z. (JOHN). Advances in building simulation and computational techniques: A review between 1987 and 2014. **Energy and Buildings**, v. 128, p. 319–335, 2016.

WHITE, S. A. Introduction to BPMN. **BPTrends**, p. 1–11, 2004.

WON, J.; LEE, G. How to tell if a BIM project is successful: A goal-driven approach. **Automation in Construction**, v. 69, p. 34–43, 2016.

WONG, J. K. W.; ZHOU, J. Enhancing environmental sustainability over building life cycles through green BIM: A review. **Automation in Construction**, v. 57, p. 156–165, 2015.

APÊNDICE A – FORMULÁRIO DE ENTREVISTA COM EMPRESA DE PROJETOS

Folha de Tarefa CARACTERIZAÇÃO DA EMPRESA		Data: 06/06/2018	Folha Nº 1
Nome da Empresa:	• -----		
Ramo de Atividade: (Projeto, Construção, Manutenção, consultoria?)	• Projeto, Construção e Consultoria.		
Nº de Empregados:	• 35.		
Disciplinas Envolvidas: (Função das pessoas envolvidas, arquiteto, engenheiro, mestre, encarregados e etc.)	• Engenheiro Civil. • Analista de Engenharia (desenhista).		
Nome do Processo: (Nome da atividade que será feita na empresa?)	• Elaboração de Projeto.		
Origem do Processo: (QUEM SOLICITOU O SERVIÇO?)	• Cliente/Proprietário.		
Destino do Processo:	• Obra.		
Tarefas envolvidas no processo de Projeto: (NOMEAR E NUMERAR TODAS AS ETAPAS)	1. Estudo do projeto arquitetônico. 2. Visita ao local de obra. 3. Propor Modelo Estrutural. 4. Pré Dimensionamento. 5. Desenho. 6. Verificação de Interferências. 7. Cálculo estrutural. 8. Detalhamento dos Desenhos. 9. Emissão de Projeto Executivo.		

FOLHA DE TAREFA Identificação das Tarefas		Data: 06/06/2018	Folha Nº 1
Identificação da ETAPA: (NOME DA 1ª ETAPA QUE SERÁ EXECUTADA)	• Estudo dos Projetos Arquitetônicos		
Descrição da ETAPA: (DESCRIÇÃO DA 1ª ETAPA)	• É realizado um estudo e análise dos projetos arquitetônicos disponibilizados pelo o cliente ou arquiteto.		
Fato Gerador da ETAPA: (O QUE ACONTECEU PARA QUE ESSA ETAPA COMEÇASSE?)	• Recebimento dos projetos arquitetônicos e complementares.		
Inputs da ETAPA (recursos): (QUAIS INFORMAÇÕES PRECISO PARA REALIZAR ESSA ETAPA?)	• Projeto Arquitetônico • Projetos Complementares		
Output da ETAPA: (QUAIS INFORMAÇÕES SÃO GERADAS APOS ESSA ETAPA?)	• Características do projeto.		
Receptor do Produto: (DEPOIS DE TERMINAR ESSA ETAPA, VAI PARA QUEM?)	• Projetista Estrutural.		
Dependências: (PARA REALIZAR ESSA ETAPA, EU PRECISO DE OUTRA ETAPA?)	• Contratação do Serviço Técnico. • Recebimento dos Projetos.		
Software Utilizado: (USA ALGUM PROGRAMA DE COMPUTADOR PARA EXECUTAR ESSA ETAPA?)	• Não se aplica		

FOLHA DE ETAPA		Data: 06/06/2018	Folha Nº 2
Identificação das Tarefas			
Identificação da ETAPA: (NOME DA 2ª ETAPA QUE SERÁ EXECUTADA)	• Visita ao Local de Obra		
Descrição da ETAPA: (DESCRIÇÃO DA 2ª ETAPA)	• É feito um levantamento sobre as características do terreno e suas vizinhanças.		
Fato Gerador da ETAPA: (O QUE ACONTECEU PARA QUE ESSA ETAPA COMEÇASSE?)	• Análise dos Projetos arquitetônicos		
Inputs da ETAPA (recursos): (QUAIS INFORMAÇÕES PRECISO PARA REALIZAR ESSA ETAPA?)	• Projetos Arquitetônicos • Endereço de onde se encontrará a edificação		
Output da ETAPA: (QUAIS INFORMAÇÕES SÃO GERADAS APOS ESSA ETAPA?)	• Característica do terreno. • Característica da Vizinhança • Disponibilidade de Insumos		
Receptor do Produto: (DEPOIS DE TERMINAR ESSA ETAPA, VAI PARA QUEM?)	• Engenheiro Projetista		
Dependências: (PARA REALIZAR ESSA ETAPA, EU PRECISO DE OUTRA ETAPA?)	• Estudo do Projeto arquitetônico		
Software Utilizado: (USA ALGUM PROGRAMA DE COMPUTADOR PARA EXECUTAR ESSA ETAPA?)	• Não se aplica.		

FOLHA DE ETAPA Identificação das Tarefas		Data: 06/06/2018	Folha Nº 3
Identificação da ETAPA: (NOME DA 3ª ETAPA QUE SERÁ EXECUTADA)	• Propor modelo estrutural		
Descrição da ETAPA: (DESCRIÇÃO DA 3ª ETAPA)	• É realizado um estudo para ver qual modelo estrutural atende melhor as necessidades do projeto, nesse estudo também é pedido a sondagem do terreno. Então é apresentado ao cliente, ele aceitando é definido o modelo estrutural.		
Fato Gerador da ETAPA: (O QUE ACONTECEU PARA QUE ESSA ETAPA COMEÇASSE?)	• Visita ao local de obra.		
Inputs da ETAPA (recursos): (QUAIS INFORMAÇÕES PRECISO PARA REALIZAR ESSA ETAPA?)	• Estudo do modelo estrutural. • Características do local da obra. • Sondagem. • O aceite do contratante		
Output da ETAPA: (QUAIS INFORMAÇÕES SÃO GERADAS APOS ESSA ETAPA?)	• Modelo estrutural definido		
Receptor do Produto: (DEPOIS DE TERMINAR ESSA ETAPA, VAI PARA QUEM?)	• Engenheiro Projetista		
Dependências: (PARA REALIZAR ESSA ETAPA, EU PRECISO DE OUTRA ETAPA?)	• Visita ao local de obra. • Estudo do modelo estrutural.		
Software Utilizado: (USA ALGUM PROGRAMA DE COMPUTADOR PARA EXECUTAR ESSA ETAPA?)	• Não se aplica.		

FOLHA DE ETAPA Identificação das Tarefas		Data: 06/06/2018	Folha Nº 4
Identificação da ETAPA: (NOME DA 4ª ETAPA QUE SERÁ EXECUTADA)	• Pré Dimensionamento.		
Descrição da ETAPA: (DESCRIÇÃO DA 4ª ETAPA)	• É elaborado um pré-dimensionamento com objetivo de lançar as primeiras peças estruturais.		
Fato Gerador da ETAPA: (O QUE ACONTECEU PARA QUE ESSA ETAPA COMEÇASSE?)	• Definição do modelo estrutural.		
Inputs da ETAPA (recursos): (QUAIS INFORMAÇÕES PRECISO PARA REALIZAR ESSA ETAPA?)	• Modelo estrutural definido. • Projetos Arquitetônicos. • Projetos Complementares.		
Output da ETAPA: (QUAIS INFORMAÇÕES SÃO GERADAS APOS ESSA ETAPA?)	• Dimensões dos elementos estruturais. • Memória de cálculo.		
Receptor do Produto: (DEPOIS DE TERMINAR ESSA ETAPA, VAI PARA QUEM?)	• Analisa de Engenharia (Desenhista).		
Dependências: (PARA REALIZAR ESSA ETAPA, EU PRECISO DE OUTRA ETAPA?)	• Definição do modelo estrutural.		
Software Utilizado: (USA ALGUM PROGRAMA DE COMPUTADOR PARA EXECUTAR ESSA ETAPA?)	• Planilhas de Excel.		

FOLHA DE ETAPA Identificação das Tarefas		Data: 06/06/2018	Folha Nº 5
Identificação da ETAPA: (NOME DA 5ª ETAPA QUE SERÁ EXECUTADA)	• Desenho da Estrutura Pré Dimensionada.		
Descrição da ETAPA: (DESCRIÇÃO DA 5ª ETAPA)	• É elaborado um pré-dimensionamento com objetivo de verificar interferência entre projetos complementares e projeto arquitetônico.		
Fato Gerador da ETAPA: (O QUE ACONTECEU PARA QUE ESSA ETAPA COMEÇASSE?)	• Pré Dimensionamento		
Inputs da ETAPA (recursos): (QUAIS INFORMAÇÕES PRECISO PARA REALIZAR ESSA ETAPA?)	• Dimensões dos elementos estruturais • Sondagem do Terreno		
Output da ETAPA: (QUAIS INFORMAÇÕES SÃO GERADAS APOS ESSA ETAPA?)	• Desenho dos elementos estruturais • Possíveis interferências com os projetos complementares e arquitetônicos.		
Receptor do Produto: (DEPOIS DE TERMINAR ESSA ETAPA, VAI PARA QUEM?)	• Engenheiro Projetista • Arquiteto		
Dependências: (PARA REALIZAR ESSA ETAPA, EU PRECISO DE OUTRA ETAPA?)	• Pré Dimensionamento		
Software Utilizado: (USA ALGUM PROGRAMA DE COMPUTADOR PARA EXECUTAR ESSA ETAPA?)	• Autocad Civil 3D		

FOLHA DE ETAPA Identificação das Tarefas		Data: 06/06/2018	Folha Nº 6
Identificação da ETAPA: (NOME DA 6ª ETAPA QUE SERÁ EXECUTADA)	• Verificação das interferências.		
Descrição da ETAPA: (DESCRIÇÃO DA 6ª ETAPA)	• Verificação das interferências do projeto estrutural com o projeto arquitetônico, com a aprovação do contratante ou do arquiteto.		
Fato Gerador da ETAPA: (O QUE ACONTECEU PARA QUE ESSA ETAPA COMEÇASSE?)	• Desenho da estrutura.		
Inputs da ETAPA (recursos): (QUAIS INFORMAÇÕES PRECISO PARA REALIZAR ESSA ETAPA?)	• Desenho completo da estrutura.		
Output da ETAPA: (QUAIS INFORMAÇÕES SÃO GERADAS APOS ESSA ETAPA?)	• Desenho da estrutura com aprovação. • Possíveis interferências com os projetos complementares e arquitetônicos.		
Receptor do Produto: (DEPOIS DE TERMINAR ESSA ETAPA, VAI PARA QUEM?)	• Engenheiro Projetista. • Arquiteto/Contratante.		
Dependências: (PARA REALIZAR ESSA ETAPA, EU PRECISO DE OUTRA ETAPA?)	• Desenho da estrutura.		
Software Utilizado: (USA ALGUM PROGRAMA DE COMPUTADOR PARA EXECUTAR ESSA ETAPA?)	• Autocad Civil 3D		

FOLHA DE ETAPA Identificação das Tarefas		Data: 06/06/2018	Folha Nº 7
Identificação da ETAPA: (NOME DA 7ª ETAPA QUE SERÁ EXECUTADA)	• Cálculo Estrutural Definitivo.		
Descrição da ETAPA: (DESCRIÇÃO DA 7ª ETAPA)	• É realizado o cálculo estrutural definitivo após a verificação de possíveis interferências.		
Fato Gerador da ETAPA: (O QUE ACONTECEU PARA QUE ESSA ETAPA COMEÇASSE?)	• Aprovação do arquiteto/contratante. • Aprovação do Engenheiro Projetista.		
Inputs da ETAPA (recursos): (QUAIS INFORMAÇÕES PRECISO PARA REALIZAR ESSA ETAPA?)	• Projetos arquitetônico • Projetos Complementares • Relatório de Sondagem		
Output da ETAPA: (QUAIS INFORMAÇÕES SÃO GERADAS APOS ESSA ETAPA?)	• Memória de Cálculo. • Dimensões finais dos elementos estruturais.		
Receptor do Produto: (DEPOIS DE TERMINAR ESSA ETAPA, VAI PARA QUEM?)	• Analista de Engenharia (Desenhista). • Engenheiro Estrutural.		
Dependências: (PARA REALIZAR ESSA ETAPA, EU PRECISO DE OUTRA ETAPA?)	• Verificação de Possíveis Interferências		
Software Utilizado: (USA ALGUM PROGRAMA DE COMPUTADOR PARA EXECUTAR ESSA ETAPA?)	• Excel • Eberick V10 • Autocad Civil 3D		

FOLHA DE ETAPA		Data: 06/06/2018	Folha Nº 8
Identificação das TAREFAS			
Identificação da ETAPA: (NOME DA 8ª ETAPA QUE SERÁ EXECUTADA)	• Detalhamento dos elementos Estruturais		
Descrição da ETAPA: (DESCRIÇÃO DA 8ª ETAPA)	• É realizado o detalhamento de todos os Elementos estruturais e o cálculo da fundação. E após a realização do detalhamento é analisado se existe algum erro.		
Fato Gerador da ETAPA: (O QUE ACONTECEU PARA QUE ESSA ETAPA COMEÇASSE?)	• Cálculo estrutural definitivo.		
Inputs da ETAPA (recursos): (QUAIS INFORMAÇÕES PRECISO PARA REALIZAR ESSA ETAPA?)	• Memória de Cálculo.		
Output da ETAPA: (QUAIS INFORMAÇÕES SÃO GERADAS APÓS ESSA ETAPA?)	• Pranchas com desenhos e detalhes de todos os elementos estruturais.		
Receptor do Produto: (DEPOIS DE TERMINAR ESSA ETAPA, VAI PARA QUEM?)	• Engenheiro Civil Projetista		
Dependências: (PARA REALIZAR ESSA ETAPA, EU PRECISO DE OUTRA ETAPA?)	• Cálculo estrutural definitivo		
Software Utilizado: (USA ALGUM PROGRAMA DE COMPUTADOR PARA EXECUTAR ESSA ETAPA?)	• Autocad Civil 3D • Revit 2017		

FOLHA DE ETAPA		Data: 06/06/2018	Folha Nº 9
Identificação das Tarefas			
Identificação da ETAPA: (NOME DA 9ª ETAPA QUE SERÁ EXECUTADA)	• Emissão do projeto Executivo		
Descrição da ETAPA: (DESCRIÇÃO DA 9ª ETAPA)	• A emissão do projeto executivo é feita após o engenheiro civil projetista ter verificado todos os desenhos e aprovado.		
Fato Gerador da ETAPA: (O QUE ACONTECEU PARA QUE ESSA ETAPA COMEÇASSE?)	• Detalhamento dos Elementos Estruturais.		
Inputs da ETAPA (recursos): (QUAIS INFORMAÇÕES PRECISO PARA REALIZAR ESSA ETAPA?)	• Projetos Estruturais • Detalhes dos elementos estruturais • Memória de Cálculo		
Output da ETAPA: (QUAIS INFORMAÇÕES SÃO GERADAS APÓS ESSA ETAPA?)	• Projeto Executivo		
Receptor do Produto: (DEPOIS DE TERMINAR ESSA ETAPA, VAI PARA QUEM?)	• Equipe de Execução na Obra/Contratante		
Dependências: (PARA REALIZAR ESSA ETAPA, EU PRECISO DE OUTRA ETAPA?)	• Detalhamento e dos desenhos terminados		
Software Utilizado: (USA ALGUM PROGRAMA DE COMPUTADOR PARA EXECUTAR ESSA ETAPA?)	• Não se aplica		

APÊNDICE B – FORMULÁRIO DE ENTREVISTA COM EMPRESA DE CONSTRUÇÃO

FOLHA DE TAREFA CARACTERIZAÇÃO DA EMPRESA		Data: 08/06/2018	Folha Nº 1
Nome da Empresa:	• -----		
Ramo de Atividade: (Projeto, Construção, Manutenção, consultoria?)	• Construção e Incorporadora.		
Nº de Empregados:	• Aproximadamente 5 mil entre funcionários e terceirizados no Brasil. • Em obra 50 da construtora e 75 terceirizados.		
Disciplinas Envolvidas: (Função das pessoas envolvidas, arquiteto, engenheiro, mestre, encarregados e etc.)	• Engenheiro Civil. • Mestre de Obras. • Carpinteiros. • Pedreiros/Servente. • Armadores.		
Nome do Processo: (Nome da atividade que será feita na empresa?)	• Execução de Estruturas de Concreto armado.		
Origem do Processo:	• Fase de projetos. • Cliente/Proprietário.		
Destino do Processo:	• Cliente/Proprietário.		
Tarefas envolvidas no processo de construção: (NOMEAR E NUMERAR TODAS AS ETAPAS)	1. Análise dos Projetos e Lev. Quantitativos. 2. Aquisição de Materiais. 3. Mobilização e Coordenação de equipes. 4. Montagem de Formas. 5. Armação da armadura. 6. Montagem do Cimbramento. 7. Conferência de Montagens. 8. Concretagem. 9. Cura do Concreto. 10. Retirada das formas e Cimbramento. 11. Conferência dos trabalhos executados.		

FOLHA DE TAREFA		Data: 08/06/2018	Folha Nº 1
Identificação das Tarefas			
Identificação da ETAPA: (NOME DA 1ª ETAPA QUE SERÁ EXECUTADA)	• Análise dos Projetos e Levantamento de Quantitativo		
Descrição da ETAPA: (DESCRIÇÃO DA 1ª ETAPA)	• É realizado uma análise dos projetos, buscado entender a melhor forma executiva. • É feito um levantamento de todos os insumos necessário para a execução das estruturas		
Fato Gerador da ETAPA: (O QUE ACONTECEU PARA QUE ESSA ETAPA COMEÇASSE?)	• Contratação da empresa para a execução. • Fornecimento dos projetos.		
Inputs da ETAPA (recursos): (QUAIS INFORMAÇÕES PRECISO PARA REALIZAR ESSA ETAPA?)	Projeto Executivo de: • Forma • Armação • Cimbramento • Complementares		
Output da ETAPA: (QUAIS INFORMAÇÕES SÃO GERADAS APOS ESSA ETAPA?)	Quantitativos de: • Forma • Aço • Cimbramento		
Receptor do Produto: (DEPOIS DE TERMINAR ESSA ETAPA, VAI PARA QUEM?)	• Mestre de Obras • Suprimentos		
Dependências: (PARA REALIZAR ESSA ETAPA, EU PRECISO DE OUTRA ETAPA?)	• Recebimento dos Projetos Executivos • Cronograma		
Software Utilizado: (USA ALGUM PROGRAMA DE COMPUTADOR PARA EXECUTAR ESSA ETAPA?)	• Não se aplica		

FOLHA DE ETAPA Identificação das Tarefas		Data: 08/06/2018	Folha Nº 2
Identificação da ETAPA: (NOME DA 2ª ETAPA QUE SERÁ EXECUTADA)	• Aquisição de Materiais		
Descrição da ETAPA: (DESCRIÇÃO DA 2ª ETAPA)	• É feita a compra e armazenamento dos insumos solicitados: Aço, formas, sarrafos, cimbramento, cimento, espaçadores, desmoldantes, arames recozidos, pregos e ferramentas		
Fato Gerador da ETAPA: (O QUE ACONTECEU PARA QUE ESSA ETAPA COMEÇASSE?)	• Análise do Projetos		
Inputs da ETAPA (recursos): (QUAIS INFORMAÇÕES PRECISO PARA REALIZAR ESSA ETAPA?)	• Levantamento de Quantitativos		
Output da ETAPA: (QUAIS INFORMAÇÕES SÃO GERADAS APOS ESSA ETAPA?)	• Insumos em obra		
Receptor do Produto: (DEPOIS DE TERMINAR ESSA ETAPA, VAI PARA QUEM?)	• Carpinteiros • Armadores • Pedreiros/Serventes		
Dependências: (PARA REALIZAR ESSA ETAPA, EU PRECISO DE OUTRA ETAPA?)	• Pedido de Compra do engenheiro, depois do levantamento.		
Software Utilizado: (USA ALGUM PROGRAMA DE COMPUTADOR PARA EXECUTAR ESSA ETAPA?)	• SAP		

FOLHA DE TAREFAS		Data: 08/06/2018	Folha Nº 3
Identificação das Tarefas			
Identificação da ETAPA: (NOME DA 3ª ETAPA QUE SERÁ EXECUTADA)	• Mobilização de Equipe e Coordenação das Equipes.		
Descrição da ETAPA: (DESCRIÇÃO DA 3ª ETAPA)	• Definição de atividades, nº de pessoas e prazos para a execução dos trabalhos.		
Fato Gerador da ETAPA: (O QUE ACONTECEU PARA QUE ESSA ETAPA COMEÇASSE?)	• Análise dos projetos.		
Inputs da ETAPA (recursos): (QUAIS INFORMAÇÕES PRECISO PARA REALIZAR ESSA ETAPA?)	• Projetos executivos.		
Output da ETAPA: (QUAIS INFORMAÇÕES SÃO GERADAS APOS ESSA ETAPA?)	• Divisão da equipe para os serviços de montagem de forma, armação da armadura e montagem do cimbramento.		
Receptor do Produto: (DEPOIS DE TERMINAR ESSA ETAPA, VAI PARA QUEM?)	• Armadores. • Carpinteiros. • Pedreiros/Serventes.		
Dependências: (PARA REALIZAR ESSA ETAPA, EU PRECISO DE OUTRA ETAPA?)	• Análise dos Projetos. • Aquisição dos Materiais.		
Software Utilizado: (USA ALGUM PROGRAMA DE COMPUTADOR PARA EXECUTAR ESSA ETAPA?)	• Não se aplica.		

FOLHA DE ETAPA		Data: 08/06/2018	Folha Nº 4
Identificação das Tarefas			
Identificação da ETAPA: (NOME DA 4ª ETAPA QUE SERÁ EXECUTADA)	• Montagem das Formas.		
Descrição da ETAPA: (DESCRIÇÃO DA 4ª ETAPA)	• É montado as formas para receber as armaduras que estão sendo armadas em paralelo.		
Fato Gerador da ETAPA: (O QUE ACONTECEU PARA QUE ESSA ETAPA COMEÇASSE?)	• Definição das equipes de trabalho.		
Inputs da ETAPA (recursos): (QUAIS INFORMAÇÕES PRECISO PARA REALIZAR ESSA ETAPA?)	• Aquisição de Insumos. • Projetos de Forma.		
Output da ETAPA: (QUAIS INFORMAÇÕES SÃO GERADAS APOS ESSA ETAPA?)	• Não se aplica.		
Receptor do Produto: (DEPOIS DE TERMINAR ESSA ETAPA, VAI PARA QUEM?)	• Engenheiro Civil (Responsável Técnico).		
Dependências: (PARA REALIZAR ESSA ETAPA, EU PRECISO DE OUTRA ETAPA?)	• Aquisição de Insumos. • Projetos de Forma. • Equipe de Trabalho.		
Software Utilizado: (USA ALGUM PROGRAMA DE COMPUTADOR PARA EXECUTAR ESSA ETAPA?)	• Não se aplica.		

FOLHA DE ETAPA		Data: 08/06/2018	Folha Nº 5
Identificação das Tarefas			
Identificação da ETAPA: (NOME DA 5ª ETAPA QUE SERÁ EXECUTADA)	• Armação das armaduras.		
Descrição da ETAPA: (DESCRIÇÃO DA 5ª ETAPA)	• Nesta etapa os armadores dobram, cortam e montam as armaduras conforme os projetos recebidos.		
Fato Gerador da ETAPA: (O QUE ACONTECEU PARA QUE ESSA ETAPA COMEÇASSE?)	• Definição da equipe de trabalho.		
Inputs da ETAPA (recursos): (QUAIS INFORMAÇÕES PRECISO PARA REALIZAR ESSA ETAPA?)	• Aquisição de Insumos. • Projeto estrutural de detalhamento de armadura.		
Output da ETAPA: (QUAIS INFORMAÇÕES SÃO GERADAS APOS ESSA ETAPA?)	• Não se aplica.		
Receptor do Produto: (DEPOIS DE TERMINAR ESSA ETAPA, VAI PARA QUEM?)	• Engenheiro Civil (Responsável Técnico).		
Dependências: (PARA REALIZAR ESSA ETAPA, EU PRECISO DE OUTRA ETAPA?)	• Aquisição de Insumos. • Projeto estrutural de detalhamento de armadura. • Equipes de Trabalho.		
Software Utilizado: (USA ALGUM PROGRAMA DE COMPUTADOR PARA EXECUTAR ESSA ETAPA?)	• Não se aplica.		

FOLHA DE ETAPA		Data: 08/06/2018	Folha Nº 6
Identificação das Tarefas			
Identificação da ETAPA: (NOME DA 6ª ETAPA QUE SERÁ EXECUTADA)	• Montagem do cimbramento.		
Descrição da ETAPA: (DESCRIÇÃO DA 6ª ETAPA)	• É montado as escoras para as fôrmas que estão sendo feitas em paralelo.		
Fato Gerador da ETAPA: (O QUE ACONTECEU PARA QUE ESSA ETAPA COMEÇASSE?)	• Definição da equipe de cimbramento.		
Inputs da ETAPA (recursos): (QUAIS INFORMAÇÕES PRECISO PARA REALIZAR ESSA ETAPA?)	• Aquisição de Insumos. • Projetos de Cimbramento.		
Output da ETAPA: (QUAIS INFORMAÇÕES SÃO GERADAS APOS ESSA ETAPA?)	• Não se aplica.		
Receptor do Produto: (DEPOIS DE TERMINAR ESSA ETAPA, VAI PARA QUEM?)	• Engenheiro Civil (Responsável Técnico).		
Dependências: (PARA REALIZAR ESSA ETAPA, EU PRECISO DE OUTRA ETAPA?)	• Aquisição de Insumos. • Projeto de Cimbramento. • Equipes de Trabalho.		
Software Utilizado: (USA ALGUM PROGRAMA DE COMPUTADOR PARA EXECUTAR ESSA ETAPA?)	• Não se aplica.		

FOLHA DE ETAPA		Data: 08/06/2018	Folha Nº 7
Identificação das Tarefas			
Identificação da ETAPA: (NOME DA 7ª ETAPA QUE SERÁ EXECUTADA)	• Conferência da Montagem.		
Descrição da ETAPA: (DESCRIÇÃO DA 7ª ETAPA)	• É verificado a montagem de forma, cimbramento e aço se estão de acordo com os projetos executivos.		
Fato Gerador da ETAPA: (O QUE ACONTECEU PARA QUE ESSA ETAPA COMEÇASSE?)	• Termina das montagens das armaduras nas formas e do cimbramento.		
Inputs da ETAPA (recursos): (QUAIS INFORMAÇÕES PRECISO PARA REALIZAR ESSA ETAPA?)	• Projetos Arquitetônico. • Projetos Estruturais. • Projetos de Forma. • Projetos de Cimbramento.		
Output da ETAPA: (QUAIS INFORMAÇÕES SÃO GERADAS APÓS ESSA ETAPA?)	• Autorização de concretagem.		
Receptor do Produto: (DEPOIS DE TERMINAR ESSA ETAPA, VAI PARA QUEM?)	• Equipe de Concretagem.		
Dependências: (PARA REALIZAR ESSA ETAPA, EU PRECISO DE OUTRA ETAPA?)	• Termina da Montagem das Formas com as armaduras e do cimbramento.		
Software Utilizado: (USA ALGUM PROGRAMA DE COMPUTADOR PARA EXECUTAR ESSA ETAPA?)	• Não se aplica.		

FOLHA DE ETAPA		Data: 08/06/2018	Folha Nº 8
Identificação das TAREFAS			
Identificação da ETAPA: (NOME DA 8ª ETAPA QUE SERÁ EXECUTADA)	• Concretagem dos elementos estruturais.		
Descrição da ETAPA: (DESCRIÇÃO DA 8ª ETAPA)	• Concretagem de todas as peças estruturais planejadas no dia, sob a supervisão do engenheiro.		
Fato Gerador da ETAPA: (O QUE ACONTECEU PARA QUE ESSA ETAPA COMEÇASSE?)	• Aprovação do engenheiro Civil		
Inputs da ETAPA (recursos): (QUAIS INFORMAÇÕES PRECISO PARA REALIZAR ESSA ETAPA?)	• Características do Concreto • Slump. • FCK.		
Output da ETAPA: (QUAIS INFORMAÇÕES SÃO GERADAS APOS ESSA ETAPA?)	• Corpo de Prova do Concreto enviado para a empresa de análise tecnológica.		
Receptor do Produto: (DEPOIS DE TERMINAR ESSA ETAPA, VAI PARA QUEM?)	• Engenheiro Civil Residente.		
Dependências: (PARA REALIZAR ESSA ETAPA, EU PRECISO DE OUTRA ETAPA?)	• Aprovação do Engenheiro Civil após a fiscalização.		
Software Utilizado: (USA ALGUM PROGRAMA DE COMPUTADOR PARA EXECUTAR ESSA ETAPA?)	• Não se aplica.		

FOLHA DE ETAPA		Data: 08/06/2018	Folha Nº 9
Identificação das Tarefas			
Identificação da ETAPA: (NOME DA 9ª ETAPA QUE SERÁ EXECUTADA)	• Cura do Concreto		
Descrição da ETAPA: (DESCRIÇÃO DA 9ª ETAPA)	• É realizado a cura do concreto, molhado em ciclos até que atinja sua resistência.		
Fato Gerador da ETAPA: (O QUE ACONTECEU PARA QUE ESSA ETAPA COMEÇASSE?)	• Termina da Concretagem • Inspeção do engenheiro Civil		
Inputs da ETAPA (recursos): (QUAIS INFORMAÇÕES PRECISO PARA REALIZAR ESSA ETAPA?)	• Não se Aplica		
Output da ETAPA: (QUAIS INFORMAÇÕES SÃO GERADAS APOS ESSA ETAPA?)	• Não se Aplica		
Receptor do Produto: (DEPOIS DE TERMINAR ESSA ETAPA, VAI PARA QUEM?)	• Engenheiro Civil		
Dependências: (PARA REALIZAR ESSA ETAPA, EU PRECISO DE OUTRA ETAPA?)	• Concretagem		
Software Utilizado: (USA ALGUM PROGRAMA DE COMPUTADOR PARA EXECUTAR ESSA ETAPA?)	• Não se aplica		

FOLHA DE ETAPA		Data: 08/06/2018	Folha Nº 10
Identificação das Tarefas			
Identificação da ETAPA: (NOME DA 10ª ETAPA QUE SERÁ EXECUTADA)	Retirada dos Cimbramentos e formas.		
Descrição da ETAPA: (DESCRIÇÃO DA 10ª ETAPA)	Retirada gradual dos cimbramentos de acordo com a cura do concreto, 7, 14, 21 e 28 dias.		
Fato Gerador da ETAPA: (O QUE ACONTECEU PARA QUE ESSA ETAPA COMEÇASSE?)	- Inspeção visual do engenheiro civil. - Autorização de desforma.		
Inputs da ETAPA (recursos): (QUAIS INFORMAÇÕES PRECISO PARA REALIZAR ESSA ETAPA?)	Tempo da concretagem.		
Output da ETAPA: (QUAIS INFORMAÇÕES SÃO GERADAS APOS ESSA ETAPA?)	Estado da Estrutura.		
Receptor do Produto: (DEPOIS DE TERMINAR ESSA ETAPA, VAI PARA QUEM?)	Engenheiro Civil.		
Dependências: (PARA REALIZAR ESSA ETAPA, EU PRECISO DE OUTRA ETAPA?)	Cura do concreto.		
Software Utilizado: (USA ALGUM PROGRAMA DE COMPUTADOR PARA EXECUTAR ESSA ETAPA?)	Não se aplica		

FOLHA DE ETAPA		Data: 08/06/2018	Folha Nº 11
Identificação das Tarefas			
Identificação da ETAPA: (NOME DA 11ª ETAPA QUE SERÁ EXECUTADA)	• Aprovação dos serviços executados		
Descrição da ETAPA: (DESCRIÇÃO DA 11ª ETAPA)	• É realizado uma vistoria após a retirada das formas, buscando possíveis patologias. • Caso exista alguma patologia é tratada ou encaminhada para o engenheiro projetista.		
Fato Gerador da ETAPA: (O QUE ACONTECEU PARA QUE ESSA ETAPA COMEÇASSE?)	• Desforma		
Inputs da ETAPA (recursos): (QUAIS INFORMAÇÕES PRECISO PARA REALIZAR ESSA ETAPA?)	• Não se Aplica		
Output da ETAPA: (QUAIS INFORMAÇÕES SÃO GERADAS APÓS ESSA ETAPA?)	• Estado da estrutura após a execução.		
Receptor do Produto: (DEPOIS DE TERMINAR ESSA ETAPA, VAI PARA QUEM?)	• Cliente final		
Dependências: (PARA REALIZAR ESSA ETAPA, EU PRECISO DE OUTRA ETAPA?)	• Desforma • Cura do concreto		
Software Utilizado: (USA ALGUM PROGRAMA DE COMPUTADOR PARA EXECUTAR ESSA ETAPA?)	• Não se aplica		

APÊNDICE C – FORMULÁRIO DE ENTREVISTA COM EMPRESA DE MANUTENÇÃO

FOLHA DE TAREFA CARACTERIZAÇÃO DA EMPRESA		Data: 04/06/2018	Nº Folha 1
Nome da Empresa:	• -----		
Ramo de Atividade: (Projeto, Construção, Manutenção, consultoria?)	• Consultoria e Tecnologia.		
Nº de Empregados:	• 11.		
Disciplinas Envolvidas: (Função das pessoas envolvidas, arquiteto, engenheiro, mestre, encarregados e etc.)	• Engenheiros Cíveis. • Técnicos de Laboratório. • Serventes. • Pedreiros.		
Nome do Processo: (Nome da atividade que será feita na empresa?)	• Manutenção.		
Origem do Processo: (QUEM SOLICITOU O SERVIÇO?)	• Operação.		
Destino do Processo:	• Demolição.		
Tarefas envolvidas no processo de Manutenção: (NOMEAR E NUMERAR TODAS AS ETAPAS)	1.Visita Técnica 2.Elaboração de Relatório Técnico 3.Ensaio Laboratoriais 4.Projeto 5.Execução 6.Inspecção 7.Relatório Final 8.Manual de Manutenção		

FOLHA DE TAREFA		Data: 04/06/2018	Nº Folha 1
Identificação das Tarefas			
Identificação da ETAPA: (NOME DA 1ª ETAPA QUE SERÁ EXECUTADA)	• Visita Técnica		
Descrição da ETAPA:	• Inspeção Visual		
Fato Gerador da ETAPA: (O QUE ACONTECEU PARA QUE ESSA ETAPA COMEÇASSE?)	• Solicitação do Cliente		
Inputs da ETAPA (recursos): (QUAIS INFORMAÇÕES PRECISO PARA REALIZAR ESSA ETAPA?)	• Projeto Estrutural • Projetos Complementares • Manual do Proprietário		
Output da ETAPA: (QUAIS INFORMAÇÕES SÃO GERADAS APOS ESSA ETAPA?)	• Relatório Técnico • Orçamento		
Receptor do Produto: (DEPOIS DE TERMINAR ESSA ETAPA, VAI PARA QUEM?)	• Proprietário • Usuário		
Dependências: (PARA REALIZAR ESSA ETAPA, EU PRECISO DE OUTRA ETAPA?)	• Solicitação do Cliente		
Software Utilizado: (USA ALGUM PROGRAMA DE COMPUTADOR PARA EXECUTAR ESSA ETAPA?)	• Não se aplica		

FOLHA DE ETAPA		Data: 04/06/2018	Nº Folha 2
Identificação das Tarefas			
Identificação da ETAPA: (NOME DA 2ª ETAPA QUE SERÁ EXECUTADA)	• Elaboração de Relatório Técnico.		
Descrição da ETAPA:	• Nesta etapa é realizado a descrição dos problemas apresentados na visita técnica e elaborado um orçamento preliminar.		
Fato Gerador da ETAPA: (O QUE ACONTECEU PARA QUE ESSA ETAPA COMEÇASSE?)	• Visita técnica.		
Inputs da ETAPA (recursos): (QUAIS INFORMAÇÕES PRECISO PARA REALIZAR ESSA ETAPA?)	• Informações retiradas da visita técnica.		
Output da ETAPA: (QUAIS INFORMAÇÕES SÃO GERADAS APOS ESSA ETAPA?)	• Orçamento. • Relatório Técnico.		
Receptor do Produto: (DEPOIS DE TERMINAR ESSA ETAPA, VAI PARA QUEM?)	• Proprietário.		
Dependências: (PARA REALIZAR ESSA ETAPA, EU PRECISO DE OUTRA ETAPA?)	• Visita técnica.		
Software Utilizado: (USA ALGUM PROGRAMA DE COMPUTADOR PARA EXECUTAR ESSA ETAPA?)	• Word.		

FOLHA DE TAREFA Identificação das Tarefas		Data: 04/06/2018	Nº Folha 3
Identificação da ETAPA: (NOME DA 3ª ETAPA QUE SERÁ EXECUTADA)	• Ensaaios e Análises laboratoriais		
Descrição da ETAPA:	• Análise Tecnológica		
Fato Gerador da ETAPA: (O QUE ACONTECEU PARA QUE ESSA ETAPA COMEÇASSE?)	• Aprovação do Relatório pelo o cliente		
Inputs da ETAPA (recursos): (QUAIS INFORMAÇÕES PRECISO PARA REALIZAR ESSA ETAPA?)	• Amostras		
Output da ETAPA: (QUAIS INFORMAÇÕES SÃO GERADAS APOS ESSA ETAPA?)	• Relatório de Ensaaios		
Receptor do Produto: (DEPOIS DE TERMINAR ESSA ETAPA, VAI PARA QUEM?)	• Projetista Estrutural		
Dependências: (PARA REALIZAR ESSA ETAPA, EU PRECISO DE OUTRA ETAPA?)	• Retirada de Amostras		
Software Utilizado: (USA ALGUM PROGRAMA DE COMPUTADOR PARA EXECUTAR ESSA ETAPA?)	• Programas de Análise Laboratoriais (Não Informado).		

FOLHA DE TAREFA Identificação das Tarefas		Data: 04/06/2018	Nº Folha 4
Identificação da ETAPA: (NOME DA 4ª ETAPA QUE SERÁ EXECUTADA)	• Projeto de Recuperação Estrutural.		
Descrição da ETAPA:	• Elaboração do projeto de intervenção ou manutenção estrutural.		
Fato Gerador da ETAPA: (O QUE ACONTECEU PARA QUE ESSA ETAPA COMEÇASSE?)	• Parecer dos Relatórios. • Análises Laboratoriais.		
Inputs da ETAPA (recursos): (QUAIS INFORMAÇÕES PRECISO PARA REALIZAR ESSA ETAPA?)	• Projetos Estruturais. • Resultados Análises Laboratoriais.		
Output da ETAPA: (QUAIS INFORMAÇÕES SÃO GERADAS APÓS ESSA ETAPA?)	• Projeto de manutenção/Intervenção. • Relatório Técnico. • Procedimentos. • Orçamento. • Definição de Materiais.		
Receptor do Produto: (DEPOIS DE TERMINAR ESSA ETAPA, VAI PARA QUEM?)	• Cliente/Proprietário.		
Dependências: (PARA REALIZAR ESSA ETAPA, EU PRECISO DE OUTRA ETAPA?)	• Ensaios.		
Software Utilizado: (USA ALGUM PROGRAMA DE COMPUTADOR PARA EXECUTAR ESSA ETAPA?)	• Autocad. • Word.		

FOLHA DE TAREFA Identificação das Tarefas		Data: 04/06/2018	Nº Folha 5
Identificação da ETAPA: (NOME DA 5ª ETAPA QUE SERÁ EXECUTADA)	• Execução do Projeto.		
Descrição da ETAPA:	• Execução da manutenção conforme definido em projeto.		
Fato Gerador da ETAPA: (O QUE ACONTECEU PARA QUE ESSA ETAPA COMEÇASSE?)	• Aprovação do Cliente/ Proprietário.		
Inputs da ETAPA (recursos): (QUAIS INFORMAÇÕES PRECISO PARA REALIZAR ESSA ETAPA?)	• Projeto de Execução. • Definição de Materiais.		
Output da ETAPA: (QUAIS INFORMAÇÕES SÃO GERADAS APOS ESSA ETAPA?)	• Não se aplica.		
Receptor do Produto: (DEPOIS DE TERMINAR ESSA ETAPA, VAI PARA QUEM?)	• Engenheiro Civil (Responsável Técnico).		
Dependências: (PARA REALIZAR ESSA ETAPA, EU PRECISO DE OUTRA ETAPA?)	• Projeto Executivo de Manutenção. • Definição dos Materiais.		
Software Utilizado: (USA ALGUM PROGRAMA DE COMPUTADOR PARA EXECUTAR ESSA ETAPA?)	• Não se aplica.		

FOLHA DE TAREFA		Data: 04/06/2018	Nº Folha 6
Identificação das Tarefas			
Identificação da ETAPA: (NOME DA 6ª ETAPA QUE SERÁ EXECUTADA)	• Inspeção Técnica da Estrutura.		
Descrição da ETAPA:	• Inspeção dos Serviços executados de acordo com o projeto executivo.		
Fato Gerador da ETAPA: (O QUE ACONTECEU PARA QUE ESSA ETAPA COMEÇASSE?)	• Termina da execução do projeto de intervenção.		
Inputs da ETAPA (recursos): (QUAIS INFORMAÇÕES PRECISO PARA REALIZAR ESSA ETAPA?)	• Projeto Executivo de Manutenção.		
Output da ETAPA: (QUAIS INFORMAÇÕES SÃO GERADAS APOS ESSA ETAPA?)	• Informações do relatório técnico.		
Receptor do Produto: (DEPOIS DE TERMINAR ESSA ETAPA, VAI PARA QUEM?)	• Cliente/Proprietário.		
Dependências: (PARA REALIZAR ESSA ETAPA, EU PRECISO DE OUTRA ETAPA?)	• Termina da execução do projeto de intervenção.		
Software Utilizado: (USA ALGUM PROGRAMA DE COMPUTADOR PARA EXECUTAR ESSA ETAPA?)	• Não Aplicável.		

FOLHA DE TAREFA		Data: 04/06/2018	Nº Folha 7
Identificação das Tarefas			
Identificação da ETAPA: (NOME DA 7ª ETAPA QUE SERÁ EXECUTADA)	• Relatório Técnico Final.		
Descrição da ETAPA:	• Criação do relatório técnico final contendo as especificações das manutenções realizadas.		
Fato Gerador da ETAPA: (O QUE ACONTECEU PARA QUE ESSA ETAPA COMEÇASSE?)	• Inspeção técnica da estrutura.		
Inputs da ETAPA (recursos): (QUAIS INFORMAÇÕES PRECISO PARA REALIZAR ESSA ETAPA?)	• As informações da inspeção técnica da estrutura.		
Output da ETAPA: (QUAIS INFORMAÇÕES SÃO GERADAS APOS ESSA ETAPA?)	• Relatório Técnico Final.		
Receptor do Produto: (DEPOIS DE TERMINAR ESSA ETAPA, VAI PARA QUEM?)	• Cliente/Proprietário.		
Dependências: (PARA REALIZAR ESSA ETAPA, EU PRECISO DE OUTRA ETAPA?)	• Inspeção técnica da estrutura.		
Software Utilizado: (USA ALGUM PROGRAMA DE COMPUTADOR PARA EXECUTAR ESSA ETAPA?)	• Word.		

FOLHA DE TAREFA Identificação das Tarefas		Data: 04/06/2018	Nº Folha 8
Identificação da ETAPA: (NOME DA 8ª ETAPA QUE SERÁ EXECUTADA)	• Manual do Proprietário.		
Descrição da ETAPA:	• Emissão do manual de intervenção e manutenção, contendo quando deverá ser feito as próximas manutenções		
Fato Gerador da ETAPA: (O QUE ACONTECEU PARA QUE ESSA ETAPA COMEÇASSE?)	• Relatório Técnico Final.		
Inputs da ETAPA (recursos): (QUAIS INFORMAÇÕES PRECISO PARA REALIZAR ESSA ETAPA?)	• Relatório Técnico Final.		
Output da ETAPA: (QUAIS INFORMAÇÕES SÃO GERADAS APOS ESSA ETAPA?)	• Manual do Proprietário.		
Receptor do Produto: (DEPOIS DE TERMINAR ESSA ETAPA, VAI PARA QUEM?)	• Cliente/Proprietário.		
Dependências: (PARA REALIZAR ESSA ETAPA, EU PRECISO DE OUTRA ETAPA?)	• Relatório Técnico Final.		
Software Utilizado: (USA ALGUM PROGRAMA DE COMPUTADOR PARA EXECUTAR ESSA ETAPA?)	• Não se aplica		

APÊNDICE D – FORMULÁRIO DE ENTREVISTA COM EMPRESA DE DEMOLIÇÃO

FOLHA DE TAREFA Caracterização da Empresa		Data: 05/06/2018	Nº Folha 1
Nome da Empresa:	• _____		
Ramo de Atividade: (Projeto, Construção, Manutenção, consultoria?)	• Demolições/ terraplanagem e construção		
Nº de Empregados:	• 35		
Disciplinas Envolvidas: (Função das pessoas envolvidas, arquiteto, engenheiro, mestre, encarregados e etc.)	• Engenheiro Civil • Engenheiro Ambiental • Técnico de Segurança do Trabalho • Mestre de Obra • Operadores de Máquinas • Aux administrativos • Serventes.		
Nome do Processo: (Nome da atividade que será feita na empresa?)	• Demolição de Estruturas de Concreto		
Origem do Processo: (QUEM SOLICITOU O SERVIÇO?)	• Solicitação do cliente que deseja utilizar o terreno.		
Destino do Processo: (DEPOIS DA DEMOLIÇÃO, VAI PARA ONDE O CONCRETO?)	• Reciclagem • Aterro de resíduos		
Tarefas envolvidas no processo de Demolição: (NOMEAR E NUMERAR TODAS AS ETAPAS)	1- Visita do Local de Demolição. 2- Elaboração de Laudo Técnico. 3- Elaboração de Estudo de Viabilidade Econômica. 4- Vistoria nas Edificações Adjacentes. 5- Solicitação de Licenças. 6- Determinação do Método de desconstrução de demolição. 7- Serviços Primários de proteção a pedestres. 8- Desmontagem. 9- Demolição.		

FOLHA DE TAREFA Identificação das Tarefas		Data: 05/06/2018	Nº Folha 1
Identificação da TAREFA: (NOME DA 1ª TAREFA QUE SERÁ EXECUTADA)	• Visita do local de demolição		
Descrição da TAREFA: (DESCRIÇÃO DA 1ª TAREFA)	• É feito levantamento da estrutura. • Verificação de itens desmontáveis.		
Fato Gerador da TAREFA: (O QUE ACONTECEU PARA QUE ESSA TAREFA COMEÇASSE?)	• Solicitação do cliente.		
Inputs da TAREFA (recursos): (QUAIS INFORMAÇÕES PRECISO PARA REALIZAR ESSA TAREFA?)	• Projeto estrutural se houver.		
Output da TAREFA: (QUAIS INFORMAÇÕES SÃO GERADAS APOS ESSA TAREFA?)	• Levantamento estrutural. • Retirada de amostra de materiais.		
Receptor do Produto: (DEPOIS DE TERMINAR ESSA TAREFA, VAI PARA QUEM?)	• Técnico de laboratório.		
Dependências: (PARA REALIZAR ESSA TAREFA, EU PRECISO DE OUTRA TAREFA?)	• Solicitação do cliente.		
Software Utilizado: (USA ALGUM PROGRAMA DE COMPUTADOR PARA EXECUTAR ESSA TAREFA?)	• Não se aplica.		

FOLHA DE TAREFA		Data: 05/06/2018	Nº Folha 2
Identificação das Tarefas			
Identificação da TAREFA: (NOME DA 2ª TAREFA QUE SERÁ EXECUTADA)	• Elaboração do laudo técnico.		
Descrição da TAREFA: (DESCRIÇÃO DA 2ª TAREFA)	• Caracterização da estrutura existente e ensaios de carga do material existente na estrutura.		
Fato Gerador da TAREFA: (O QUE ACONTECEU PARA QUE ESSA TAREFA COMEÇASSE?)	• Visita Técnica.		
Inputs da TAREFA (recursos): (QUAIS INFORMAÇÕES PRECISO PARA REALIZAR ESSA TAREFA?)	• Ensaios de Laboratórios da Estrutura. • Projetos estruturais ou Levantamento da estrutura existente.		
Output da TAREFA: (QUAIS INFORMAÇÕES SÃO GERADAS APOS ESSA TAREFA?)	• Laudo completo sobre a atual situação da estrutura existente e suas características e parecer técnico.		
Receptor do Produto: (DEPOIS DE TERMINAR ESSA TAREFA, VAI PARA QUEM?)	• Administrativo.		
Dependências: (PARA REALIZAR ESSA TAREFA, EU PRECISO DE OUTRA TAREFA?)	• Visita Técnica. • Laudos laboratoriais.		
Software Utilizado: (USA ALGUM PROGRAMA DE COMPUTADOR PARA EXECUTAR ESSA TAREFA?)	• Programas de Análise Laboratoriais (Não Informado).		

FOLHA DE TAREFA		Data: 05/06/2018	Nº Folha 3
Identificação das Tarefas			
Identificação da TAREFA: (NOME DA 3ª TAREFA QUE SERÁ EXECUTADA)	• Elaboração de estudo de Viabilidade Econômica.		
Descrição da TAREFA: (DESCRIÇÃO DA 3ª TAREFA)	• Elaboração de um orçamento detalhado sobre custo da operação.		
Fato Gerador da TAREFA: (O QUE ACONTECEU PARA QUE ESSA TAREFA COMEÇASSE?)	• Elaboração do Laudo Técnico.		
Inputs da TAREFA (recursos): (QUAIS INFORMAÇÕES PRECISO PARA REALIZAR ESSA TAREFA?)	• Laudo Técnico.		
Output da TAREFA: (QUAIS INFORMAÇÕES SÃO GERADAS APOS ESSA TAREFA?)	• Orçamento.		
Receptor do Produto: (DEPOIS DE TERMINAR ESSA TAREFA, VAI PARA QUEM?)	• Proprietário		
Dependências: (PARA REALIZAR ESSA TAREFA, EU PRECISO DE OUTRA TAREFA?)	• Laudo Técnico		
Software Utilizado: (USA ALGUM PROGRAMA DE COMPUTADOR PARA EXECUTAR ESSA TAREFA?)	• Não se aplica		

FOLHA DE TAREFA Identificação das Tarefas		Data: 05/06/2018	Nº Folha 4
Identificação da TAREFA: (NOME DA 4ª TAREFA QUE SERÁ EXECUTADA)	• Vistoria nas Edificações Adjacentes.		
Descrição da TAREFA: (DESCRIÇÃO DA 4ª TAREFA)	• Vistoria dos Prédios Vizinhos. • Elaboração do “<i>ad perpetuam rei memoriam</i>” das edificações existentes.		
Fato Gerador da TAREFA: (O QUE ACONTECEU PARA QUE ESSA TAREFA COMEÇASSE?)	• Aprovação do orçamento pelo o cliente.		
Inputs da TAREFA (recursos): (QUAIS INFORMAÇÕES PRECISO PARA REALIZAR ESSA TAREFA?)	• Autorização dos proprietários dos prédios existentes.		
Output da TAREFA: (QUAIS INFORMAÇÕES SÃO GERADAS APOS ESSA TAREFA?)	• Memorial das imperfeições existentes nas edificações próximas.		
Receptor do Produto: (DEPOIS DE TERMINAR ESSA TAREFA, VAI PARA QUEM?)	• Responsável técnico.		
Dependências: (PARA REALIZAR ESSA TAREFA, EU PRECISO DE OUTRA TAREFA?)	• Vistoria nas edificações.		
Software Utilizado: (USA ALGUM PROGRAMA DE COMPUTADOR PARA EXECUTAR ESSA TAREFA?)	• Não se aplica.		

FOLHA DE TAREFA		Data: 05/06/2018	Nº Folha 5
Identificação das Tarefas			
Identificação da TAREFA: (NOME DA 5ª TAREFA QUE SERÁ EXECUTADA)	• Solicitações de Licenças.		
Descrição da TAREFA: (DESCRIÇÃO DA 5ª TAREFA)	• Solicitações de Licença de obra junto aos órgãos municipais.		
Fato Gerador da TAREFA: (O QUE ACONTECEU PARA QUE ESSA TAREFA COMEÇASSE?)	• Vistoria nas edificações.		
Inputs da TAREFA (recursos): (QUAIS INFORMAÇÕES PRECISO PARA REALIZAR ESSA TAREFA?)	• Localização do Prédio. • Laudos Técnicos.		
Output da TAREFA: (QUAIS INFORMAÇÕES SÃO GERADAS APÓS ESSA TAREFA?)	• Licença Ambientais. • Autorização para fechamento das Ruas e faixas de pedestre. • Alvará de demolição.		
Receptor do Produto: (DEPOIS DE TERMINAR ESSA TAREFA, VAI PARA QUEM?)	• Engenheiro Responsável.		
Dependências: (PARA REALIZAR ESSA TAREFA, EU PRECISO DE OUTRA TAREFA?)	• Vistoria das edificações vizinhas.		
Software Utilizado: (USA ALGUM PROGRAMA DE COMPUTADOR PARA EXECUTAR ESSA TAREFA?)	• Não se aplica.		

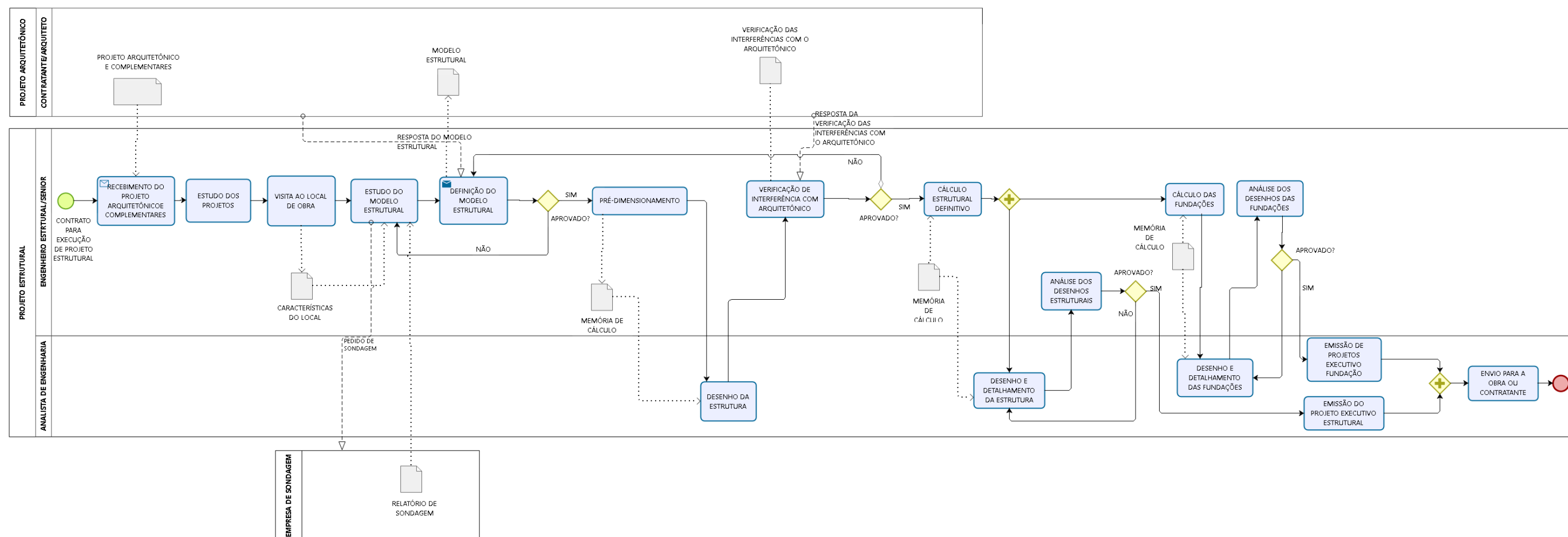
FOLHA DE TAREFA		Data: 05/06/2018	Nº Folha 6
Identificação das Tarefas			
Identificação da TAREFA: (NOME DA 6ª TAREFA QUE SERÁ EXECUTADA)	• Determinação do Método de desconstrução de demolição.		
Descrição da TAREFA: (DESCRIÇÃO DA 6ª TAREFA)	• É feito uma análise de impacto local de acordo com o método de demolição.		
Fato Gerador da TAREFA: (O QUE ACONTECEU PARA QUE ESSA TAREFA COMEÇASSE?)	• Emissão do Alvará de Demolição.		
Inputs da TAREFA (recursos): (QUAIS INFORMAÇÕES PRECISO PARA REALIZAR ESSA TAREFA?)	• Alvará de Demolição.		
Output da TAREFA: (QUAIS INFORMAÇÕES SÃO GERADAS APÓS ESSA TAREFA?)	• Nº de Equipes. • Nº de Equipamentos. • Nº Impacto da Região.		
Receptor do Produto: (DEPOIS DE TERMINAR ESSA TAREFA, VAI PARA QUEM?)	• Responsável técnico para realizar a mobilização. • Equipe de Desmontagem. • Contratação de Seguro. • Serviços primários de proteção a pedestres.		
Dependências: (PARA REALIZAR ESSA TAREFA, EU PRECISO DE OUTRA TAREFA?)	• Alvará de Demolição. • Serviços Preliminares Executados.		
Software Utilizado: (USA ALGUM PROGRAMA DE COMPUTADOR PARA EXECUTAR ESSA TAREFA?)	• Não se aplica.		

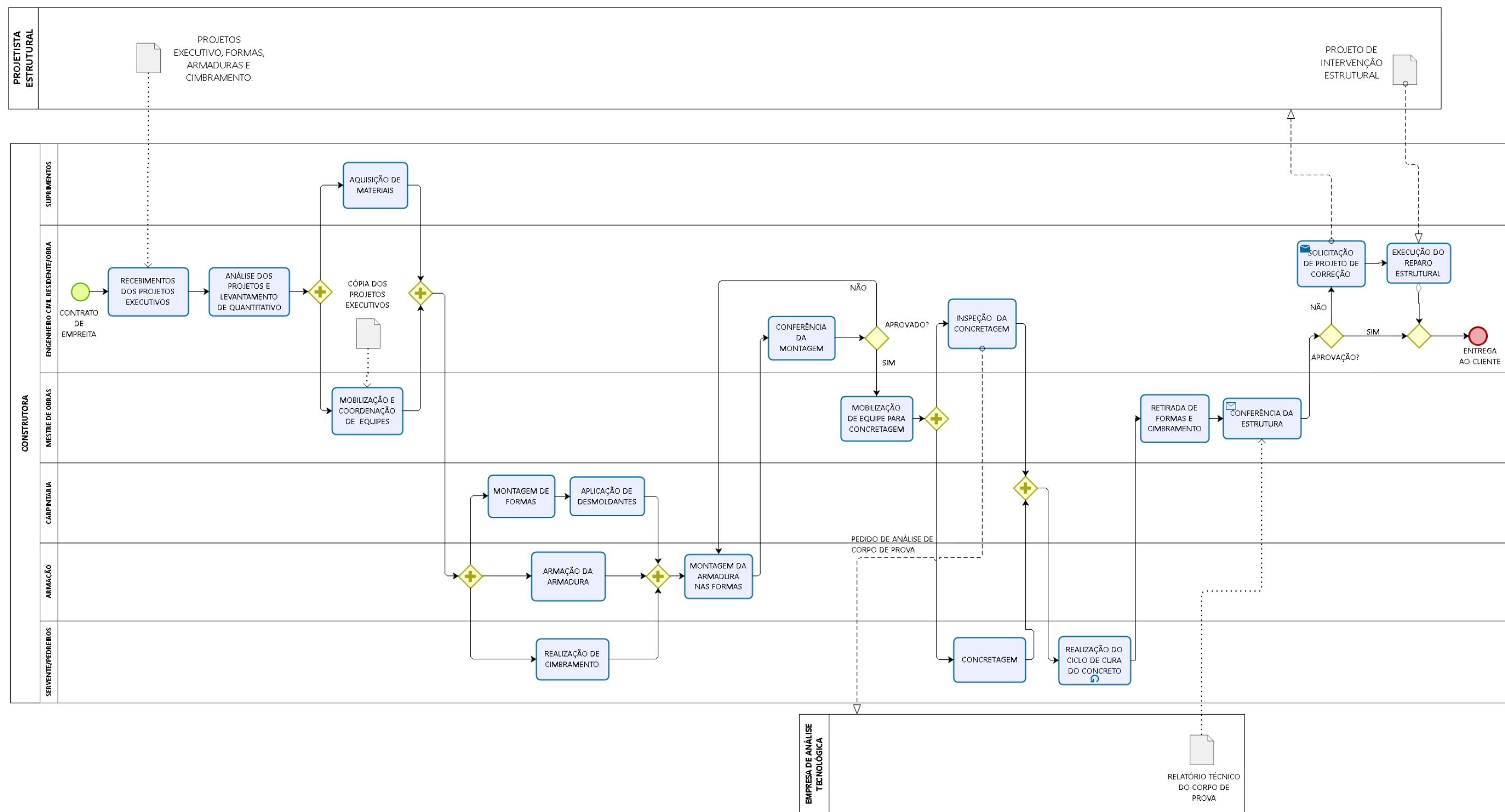
FOLHA DE TAREFA Identificação das Tarefas		Data: 05/06/2018	Nº Folha 7
Identificação da TAREFA: (NOME DA 7ª TAREFA QUE SERÁ EXECUTADA)	• Serviços primários de proteção a pedestres.		
Descrição da TAREFA: (DESCRIÇÃO DA 7ª TAREFA)	• Fechamento da área com telas e tapumes, sinalização na região para pedestres e veículos.		
Fato Gerador da TAREFA: (O QUE ACONTECEU PARA QUE ESSA TAREFA COMEÇASSE?)	• Emissão do alvará de demolição.		
Inputs da TAREFA (recursos): (QUAIS INFORMAÇÕES PRECISO PARA REALIZAR ESSA TAREFA?)	• Alvará de Demolição.		
Output da TAREFA: (QUAIS INFORMAÇÕES SÃO GERADAS APOS ESSA TAREFA?)	• Local Isolado.		
Receptor do Produto: (DEPOIS DE TERMINAR ESSA TAREFA, VAI PARA QUEM?)	• Mobilização de equipes para desconstrução e demolição.		
Dependências: (PARA REALIZAR ESSA TAREFA, EU PRECISO DE OUTRA TAREFA?)	• Alvará de demolição.		
Software Utilizado: (USA ALGUM PROGRAMA DE COMPUTADOR PARA EXECUTAR ESSA TAREFA?)	• Não se aplica.		

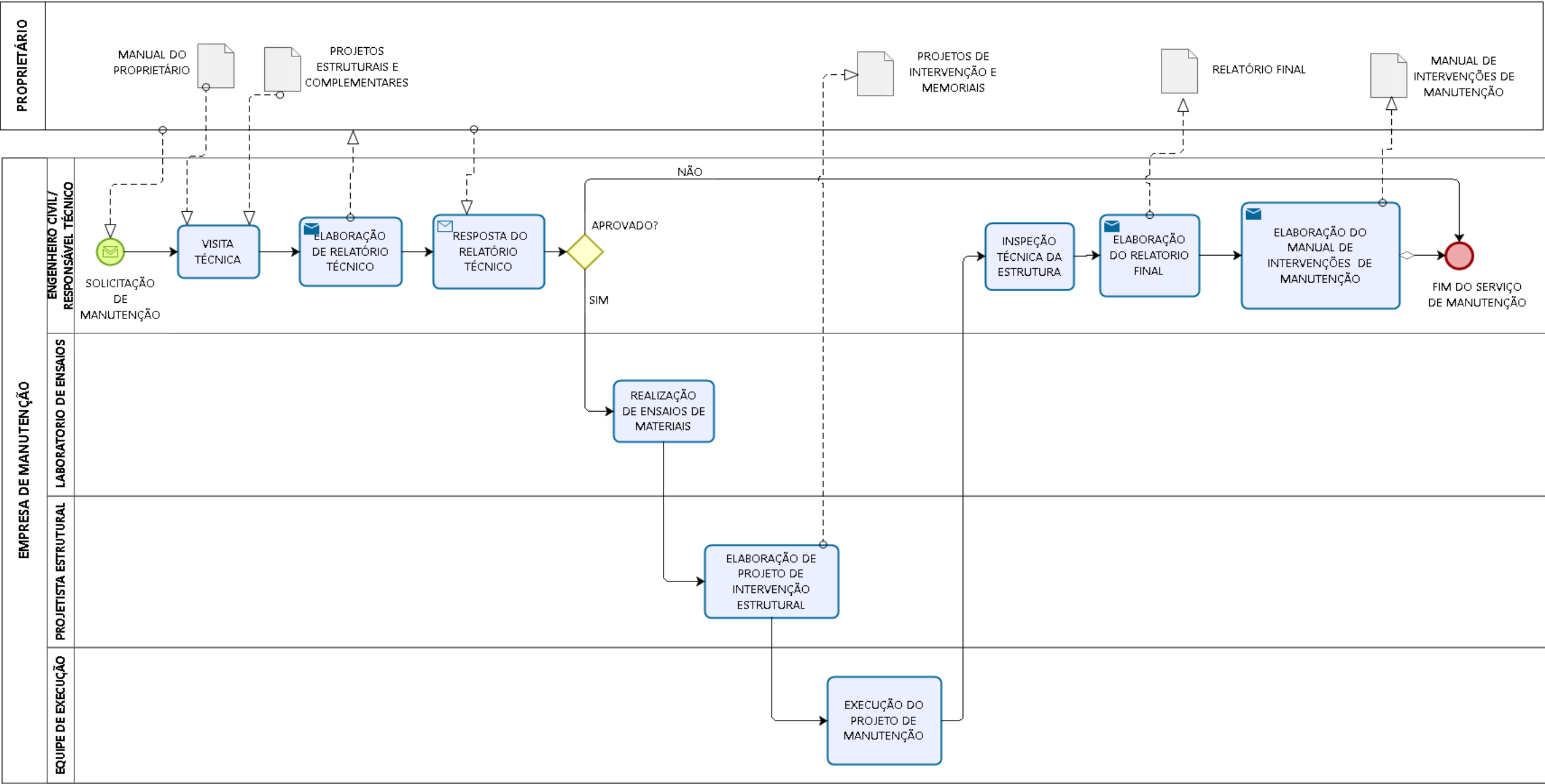
FOLHA DE TAREFA Identificação das Tarefas		Data: 05/06/2018	Nº Folha 8
Identificação da TAREFA: (NOME DA 8ª TAREFA QUE SERÁ EXECUTADA)	• Desconstrução.		
Descrição da TAREFA: (DESCRIÇÃO DA 8ª TAREFA)	• Realização da retirada de esquadrias, telhados, louças, elétrica, peças de madeira e tudo que for possível desmontar.		
Fato Gerador da TAREFA: (O QUE ACONTECEU PARA QUE ESSA TAREFA COMEÇASSE?)	• Definição do Método de Demolição.		
Inputs da TAREFA (recursos): (QUAIS INFORMAÇÕES PRECISO PARA REALIZAR ESSA TAREFA?)	• Método de demolição. • Alvará de Demolição. • Outras Licenças.		
Output da TAREFA: (QUAIS INFORMAÇÕES SÃO GERADAS APOS ESSA TAREFA?)	• Estrutura não desmontável.		
Receptor do Produto: (DEPOIS DE TERMINAR ESSA TAREFA, VAI PARA QUEM?)	• Equipe de demolição.		
Dependências: (PARA REALIZAR ESSA TAREFA, EU PRECISO DE OUTRA TAREFA?)	• Mobilização de equipe e maquinário.		
Software Utilizado: (USA ALGUM PROGRAMA DE COMPUTADOR PARA EXECUTAR ESSA TAREFA?)	• Não se aplica.		

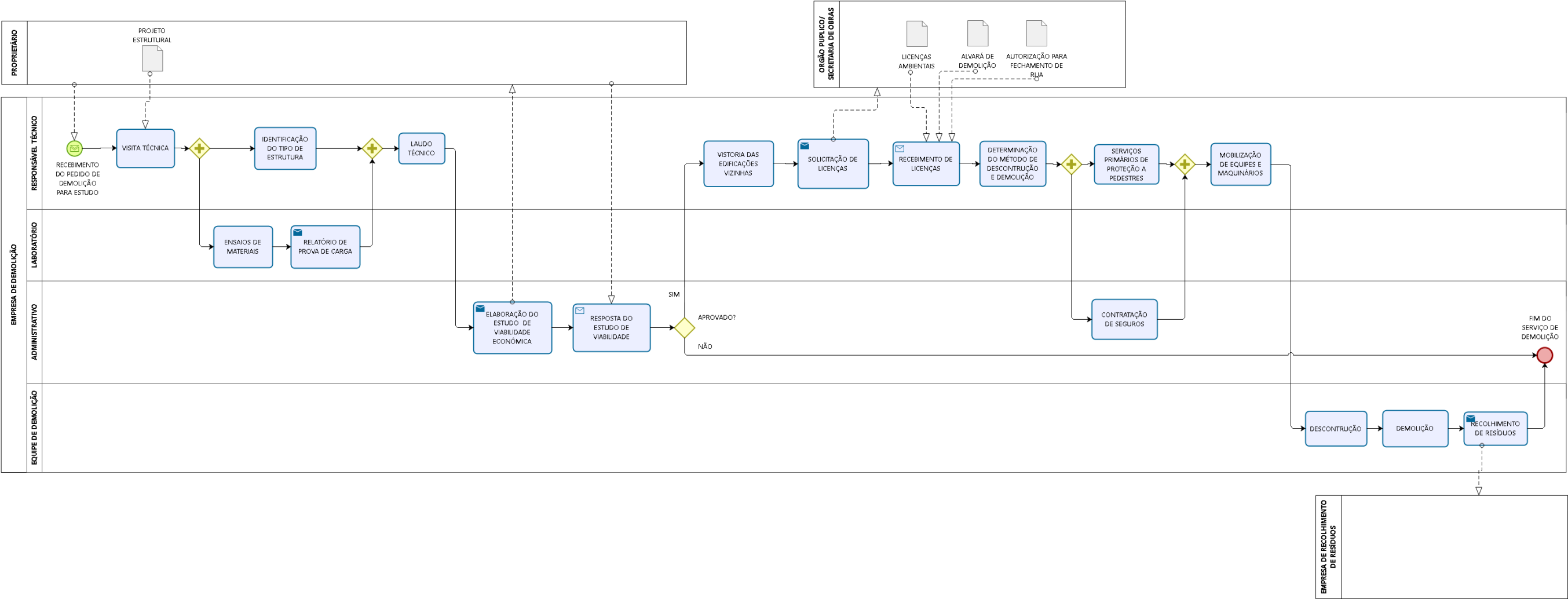
FOLHA DE TAREFA		Data: 05/06/2018	Nº Folha 9
Identificação das Tarefas			
Identificação da TAREFA: (NOME DA 9ª TAREFA QUE SERÁ EXECUTADA)	• Demolição.		
Descrição da TAREFA: (DESCRIÇÃO DA 9ª TAREFA)	• Realização da Demolição da estrutura não desmontável e disposição do maquinário de transporte.		
Fato Gerador da TAREFA: (O QUE ACONTECEU PARA QUE ESSA TAREFA COMEÇASSE?)	• Desmontagem da estrutura.		
Inputs da TAREFA (recursos): (QUAIS INFORMAÇÕES PRECISO PARA REALIZAR ESSA TAREFA?)	• Alvará de demolição.		
Output da TAREFA: (QUAIS INFORMAÇÕES SÃO GERADAS APÓS ESSA TAREFA?)	• Volume de entulho.		
Receptor do Produto: (DEPOIS DE TERMINAR ESSA TAREFA, VAI PARA QUEM?)	• Aterros de resíduos da construção.		
Dependências: (PARA REALIZAR ESSA TAREFA, EU PRECISO DE OUTRA TAREFA?)	• Desmontagem.		
Software Utilizado: (USA ALGUM PROGRAMA DE COMPUTADOR PARA EXECUTAR ESSA TAREFA?)	• Não se aplica.		

APÊNDICE E – MAPEAMENTO DOS PROCESSOS AS-IS

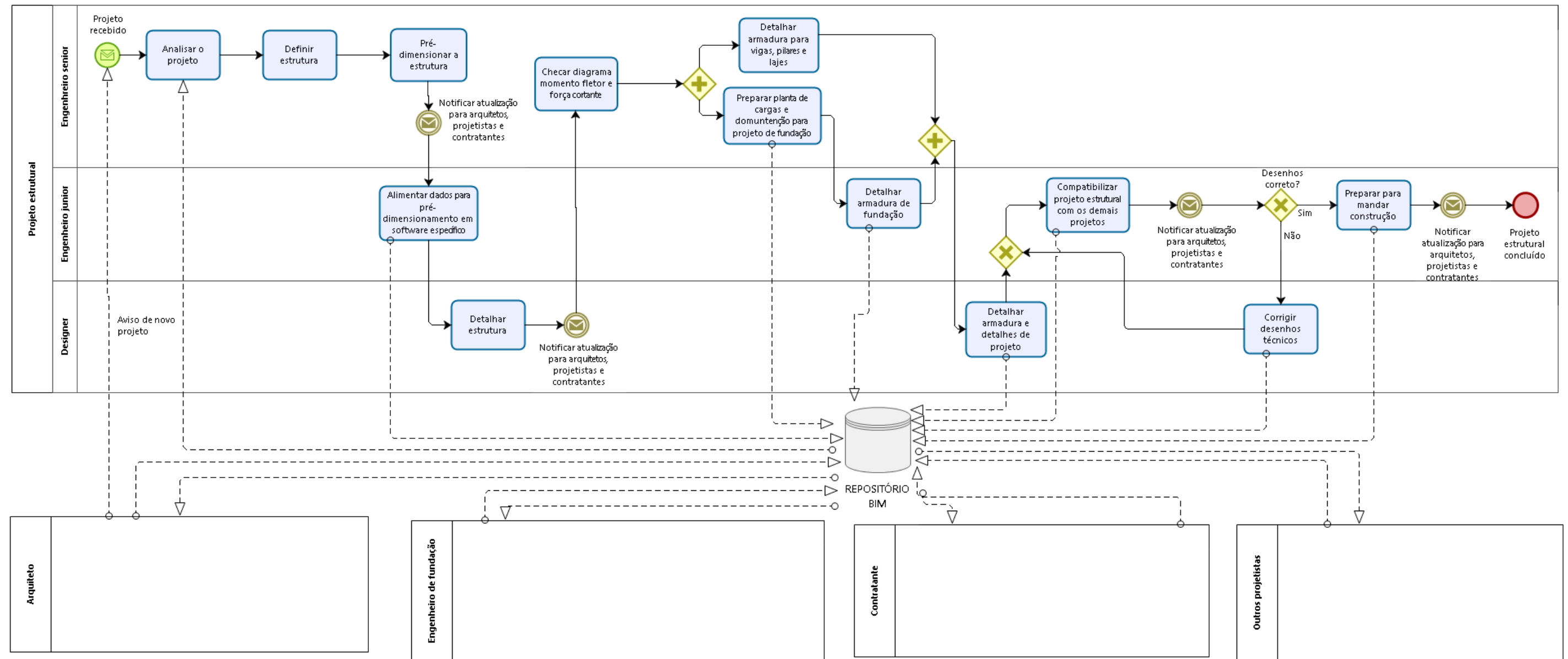


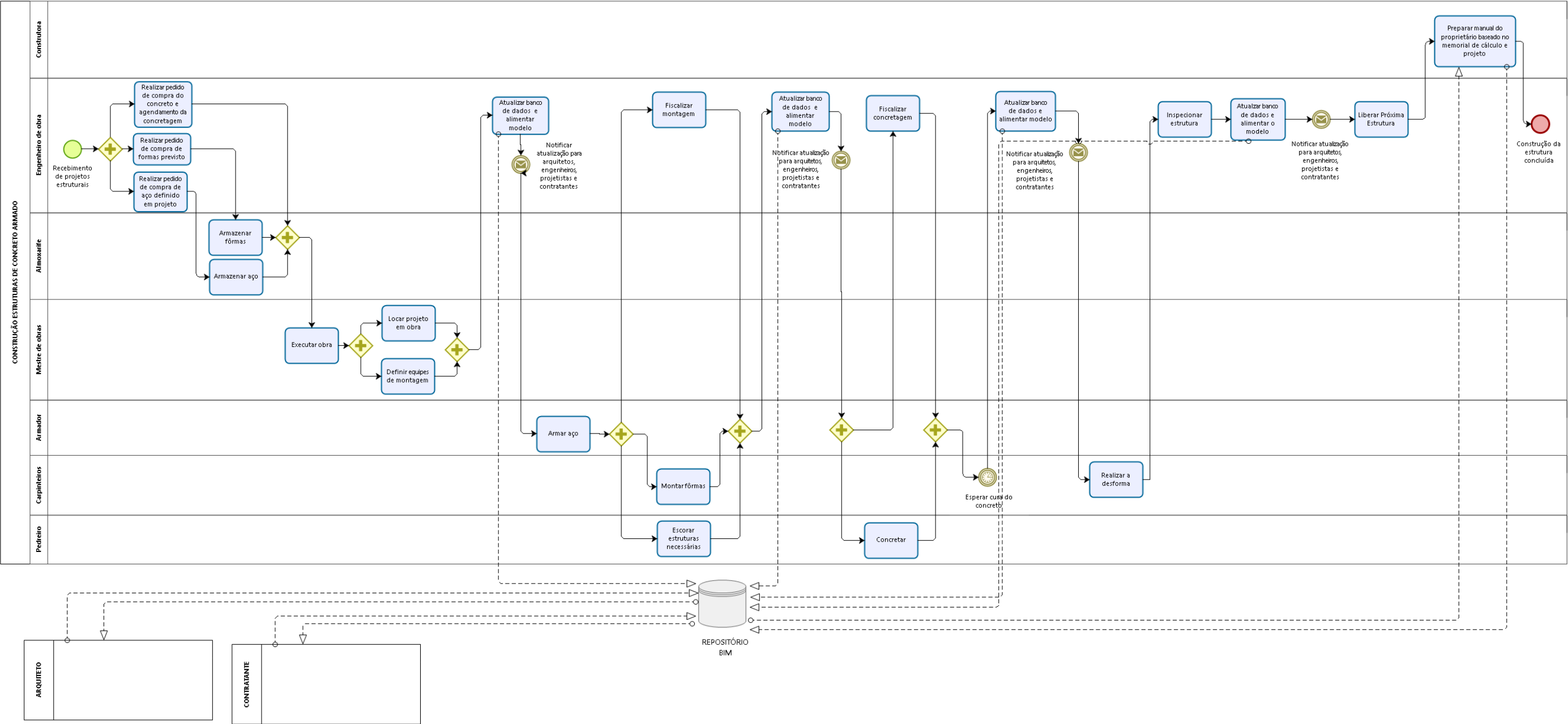


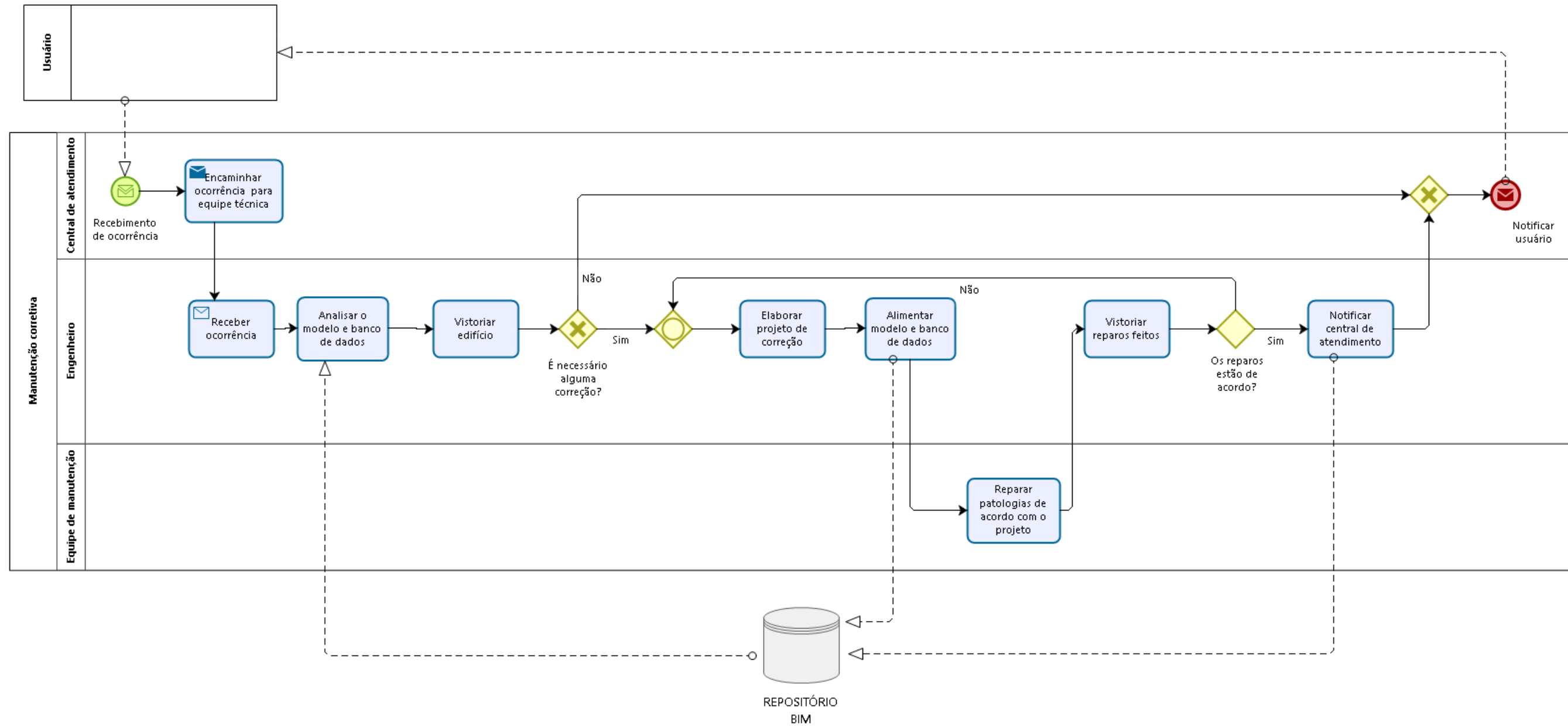


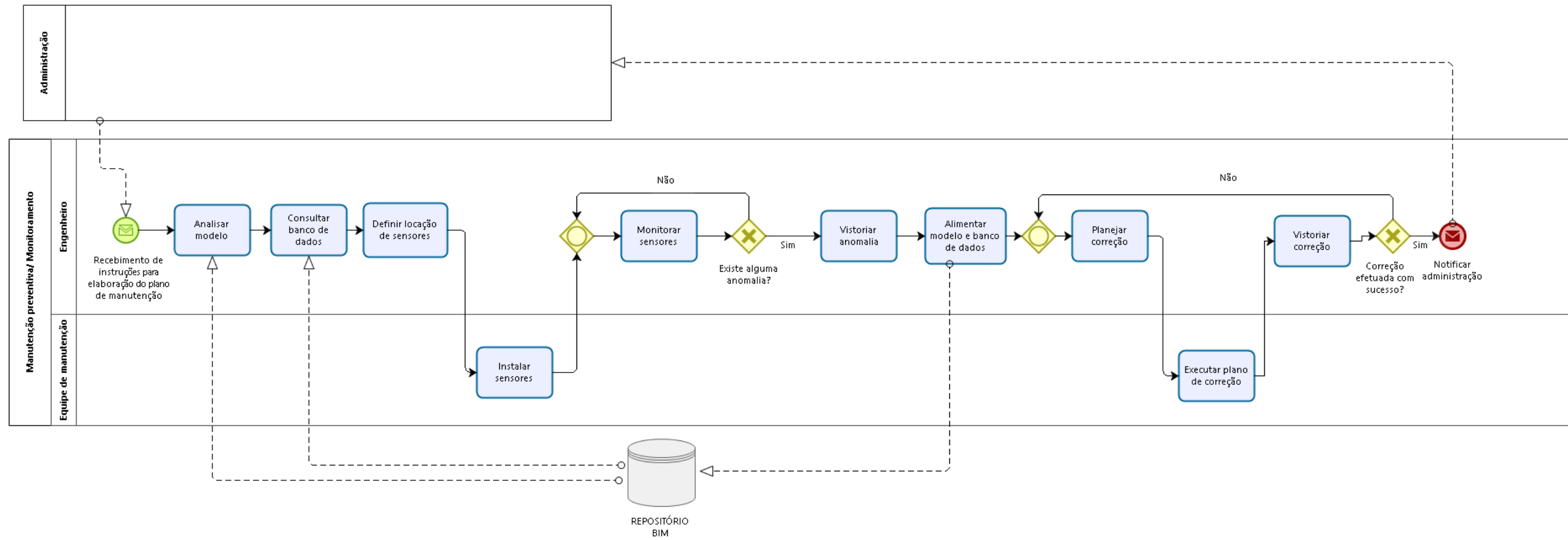


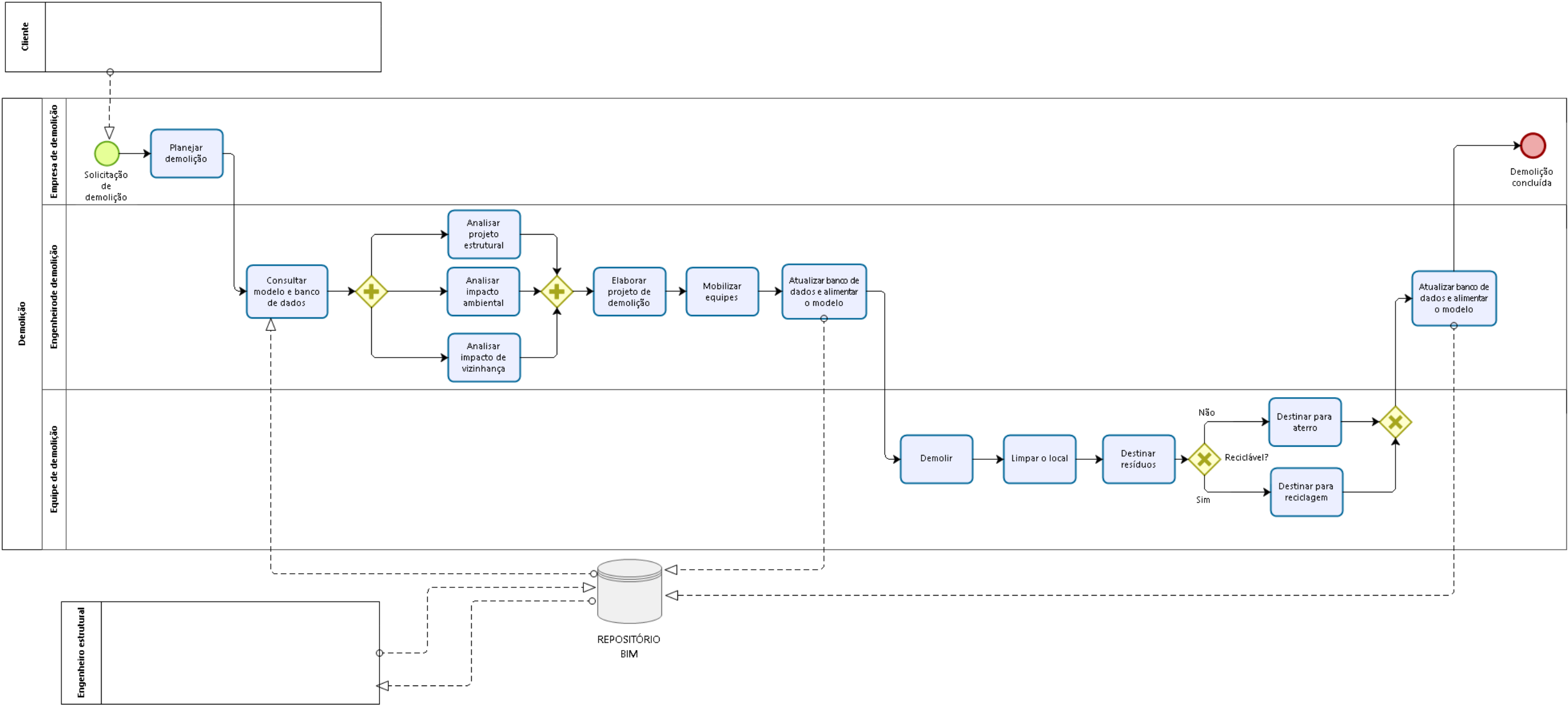
APÊNDICE F – MAPEAMENTO DOS PROCESSOS PRELIMINAR TO-BE











APÊNDICE G – PRIMEIRA RODADA DELPHI E PERFIL DOS ESPECIALISTAS

PERFIL DO ESPECIALISTA PROJETO	PERGUNTAS RELACIONADAS A VALIDAÇÃO DO PROCESSO DE PROJETO
ESPECIALISTA 1	
1. Sua atividade atual é exercida: ☒ No setor da construção civil ☐ Na academia 2. Tempo de experiência profissional/área de conhecimento: ☐ 1 a 2 anos ☐ 3 a 5 anos ☐ 6 a 9 anos ☒ 10 a 15 anos ☐ Acima de 16 anos 3. Em qual área da empresa/conhecimento já atuou? ☒ Projetos ☐ Construção ☒ Manutenção ☒ Demolição ☐ Outras 4. Atualmente em qual área da empresa/pesquisa atua? ☒ Projetos ☐ Construção ☒ Manutenção ☐ Demolição ☐ Outras	5. Conforme o mapa da proposta de processo está estruturado, você acredita que é necessário adicionar algum profissional/ participante? Se sim, exemplifique. Não 6. Conforme o mapa da proposta de processo está estruturado, você acredita que é necessário retirar algum profissional/ participante? Se sim, exemplifique. Não 7. Conforme o mapa da proposta de processo está estruturado, você acredita que é necessário alterar alguma tarefa? Se sim, exemplifique. Tarefa "Analisar o Projeto" poderia ser "Analisar o projeto existente" 8. Conforme o mapa da proposta de processo está estruturado, você acredita que é necessário adicionar alguma tarefa? Se sim, exemplifique. Adicionar uma tarefa de "Análise do modelo e banco de dados" depois de "Detalhar a Estrutura" para que o projetista certifique-se da decisão de avançar com o projeto. 9. Conforme o mapa da proposta de processo está estruturado, você acredita que é necessário excluir alguma tarefa? Se sim, exemplifique. Não 10. Conforme o mapa da proposta de processo está estruturado, você acredita que o fluxo do processo está correto? Se não, exemplifique. Sim 11. Conforme o mapa da proposta de processo está estruturado, você sugeriria alguma modificação? Apenas as sugeridas 12. Durante o processo, você acha necessária a notificação dos outros profissionais a cada nova atualização do modelo? Exemplifique? Sim, para os profissionais que não estão dentro do corpo da empresa. 13. Na sua avaliação, o processo proposto irá facilitar a compatibilização de processos? Sim

PERFIL DO ESPECIALISTA PROJETO	PERGUNTAS RELACIONADAS A VALIDAÇÃO DO PROCESSO DE PROJETO
ESPECIALISTA 5 1. Sua atividade atual é exercida: ☒ No setor da construção civil ☐ Na academia 2. Tempo de experiência profissional/área de conhecimento: ☐ 1 a 2 anos ☐ 3 a 5 anos ☐ 6 a 9 anos ☐ 10 a 15 anos ☒ Acima de 16 anos 3. Em qual área da empresa/conhecimento já atuou? ☒ Projetos ☒ Construção ☒ Manutenção ☒ Demolição ☐ Outras 4. Atualmente em qual área da empresa/pesquisa atua? ☒ Projetos ☐ Construção ☐ Manutenção ☐ Demolição ☐ Outras	5. Conforme o mapa da proposta de processo está estruturado, você acredita que é necessário adicionar algum profissional/ participante? Se sim, exemplifique. Sim, um BIM Manager, para a coordenação de informações entre os participantes do projeto. 6. Conforme o mapa da proposta de processo está estruturado, você acredita que é necessário retirar algum profissional/ participante? Se sim, exemplifique. Não. 7. Conforme o mapa da proposta de processo está estruturado, você acredita que é necessário alterar alguma tarefa? Se sim, exemplifique. Substituir a tarefa "Detalhar estrutura" que está sob responsabilidade do Designer, para uma tarefa de "Compatibilizar o projeto estrutural com os demais projetos" e sendo atribuída para o BIM Manager. 8. Conforme o mapa da proposta de processo está estruturado, você acredita que é necessário adicionar alguma tarefa? Se sim, exemplifique. Apenas a substituição de tarefa proposta no 7. 9. Conforme o mapa da proposta de processo está estruturado, você acredita que é necessário excluir alguma tarefa? Se sim, exemplifique. Apenas a substituição de tarefa proposta no 7. 10. Conforme o mapa da proposta de processo está estruturado, você acredita que o fluxo do processo está correto? Se não, exemplifique. Sim 11. Conforme o mapa da proposta de processo está estruturado, você sugeriria alguma modificação? Somente as já citadas. 12. Durante o processo, você acha necessária a notificação dos outros profissionais a cada nova atualização do modelo? Exemplifique? Sim, para todos atualizarem seus modelos. 13. Na sua avaliação, o processo proposto irá facilitar a compatibilização de processos? Com o profissional BIM Manager proposto com certeza.

PERFIL DO ESPECIALISTA CONSTRUÇÃO	PERGUNTAS RELACIONADAS A VALIDAÇÃO DO PROCESSO DE CONSTRUÇÃO
ESPECIALISTA 2 1. Sua atividade atual é exercida: ☒ No setor da construção civil ☐ Na academia 2. Tempo de experiência profissional/área de conhecimento: ☐ 1 a 2 anos ☐ 3 a 5 anos ☐ 6 a 9 anos ☒ 10 a 15 anos ☐ Acima de 16 anos 3. Em qual área da empresa/conhecimento já atuou? ☒ Projetos ☐ Construção ☒ Manutenção ☒ Demolição ☐ Outras 4. Atualmente em qual área da empresa/pesquisa atua? ☒ Projetos ☐ Construção ☒ Manutenção ☐ Demolição ☐ Outras	5. Conforme o mapa da proposta de processo está estruturado, você acredita que é necessário adicionar algum profissional/ participante? Se sim, exemplifique. Não 6. Conforme o mapa da proposta de processo está estruturado, você acredita que é necessário retirar algum profissional/ participante? Se sim, exemplifique. Não 7. Conforme o mapa da proposta de processo está estruturado, você acredita que é necessário alterar alguma tarefa? Se sim, exemplifique. Não 8. Conforme o mapa da proposta de processo está estruturado, você acredita que é necessário adicionar alguma tarefa? Se sim, exemplifique. Não 9. Conforme o mapa da proposta de processo está estruturado, você acredita que é necessário excluir alguma tarefa? Se sim, exemplifique. Não 10. Conforme o mapa da proposta de processo está estruturado, você acredita que o fluxo do processo está correto? Se não, exemplifique. Sim 11. Conforme o mapa da proposta de processo está estruturado, você sugeriria alguma modificação? Não, está de acordo. 12. Conforme o mapa da proposta de processo está estruturado, você acredita que a logística da obra teria impactos positivos? Sim, provavelmente. 13. Na fase de construção você concorda que é o engenheiro de obras que deve alimentar o modelo? Sim, é o engenheiro o mais apto a alimentar o modelo.

PERFIL DO ESPECIALISTA CONSTRUÇÃO	PERGUNTAS RELACIONADAS A VALIDAÇÃO DO PROCESSO DE CONSTRUÇÃO
ESPECIALISTA 3 1. Sua atividade atual é exercida: ☒ No setor da construção civil ☐ Na academia 2. Tempo de experiência profissional/área de conhecimento: ☐ 1 a 2 anos ☒ 3 a 5 anos ☐ 6 a 9 anos ☐ 10 a 15 anos ☐ Acima de 16 anos 3. Em qual área da empresa/conhecimento já atuou? ☒ Projetos ☒ Construção ☐ Manutenção ☐ Demolição ☐ Outras 4. Atualmente em qual área da empresa/pesquisa atua? ☐ Projetos ☒ Construção ☐ Manutenção ☐ Demolição ☐ Outras	5. Conforme o mapa da proposta de processo está estruturado, você acredita que é necessário adicionar algum profissional/ participante? Se sim, exemplifique. Na empresa que atuo a compra de materiais é o setor de suprimento, o engenheiro da obra faz a solicitação e levantamento 6. Conforme o mapa da proposta de processo está estruturado, você acredita que é necessário retirar algum profissional/ participante? Se sim, exemplifique. Na empresa que trabalho, a mesma equipe que monta a forma (carpinteiros/serventes) fazem o escoramento e a concretagem, porém este não é o usual. 7. Conforme o mapa da proposta de processo está estruturado, você acredita que é necessário alterar alguma tarefa? Se sim, exemplifique. Dividir a tarefa armação em 2 fases: 1 - Corte e Dobra e 2- Posicionamento e Montagem na fôrma. Dividir a tarefa de fôrma em 2 fases: 1- Fabricação e 2- Montagem. Alterar a tarefa de "executar obra" do mestre para "analisar o projeto" 8. Conforme o mapa da proposta de processo está estruturado, você acredita que é necessário adicionar alguma tarefa? Se sim, exemplifique. Não apenas "esperar" cura mas realizar a cura conforme recomendações de projeto, transformar em tarefa em vez de apenas 9. Conforme o mapa da proposta de processo está estruturado, você acredita que é necessário excluir alguma tarefa? Se sim, exemplifique. As já citadas. 10. Conforme o mapa da proposta de processo está estruturado, você acredita que o fluxo do processo está correto? Se não, exemplifique. Sim 11. Conforme o mapa da proposta de processo está estruturado, você sugeriria alguma modificação? Incluir etapa para planejamento dos ciclos de concretagem, antes de realizar os pedidos de materiais. 12. Conforme o mapa da proposta de processo está estruturado, você acredita que a logística da obra teria impactos positivos? Acredito que com as notificações os projetistas, arquitetos e cliente, e com a obrigação de atualizar o modelo, teremos menos risco de 13. Na fase de construção você concorda que é o engenheiro de obras que deve alimentar o modelo? Sim

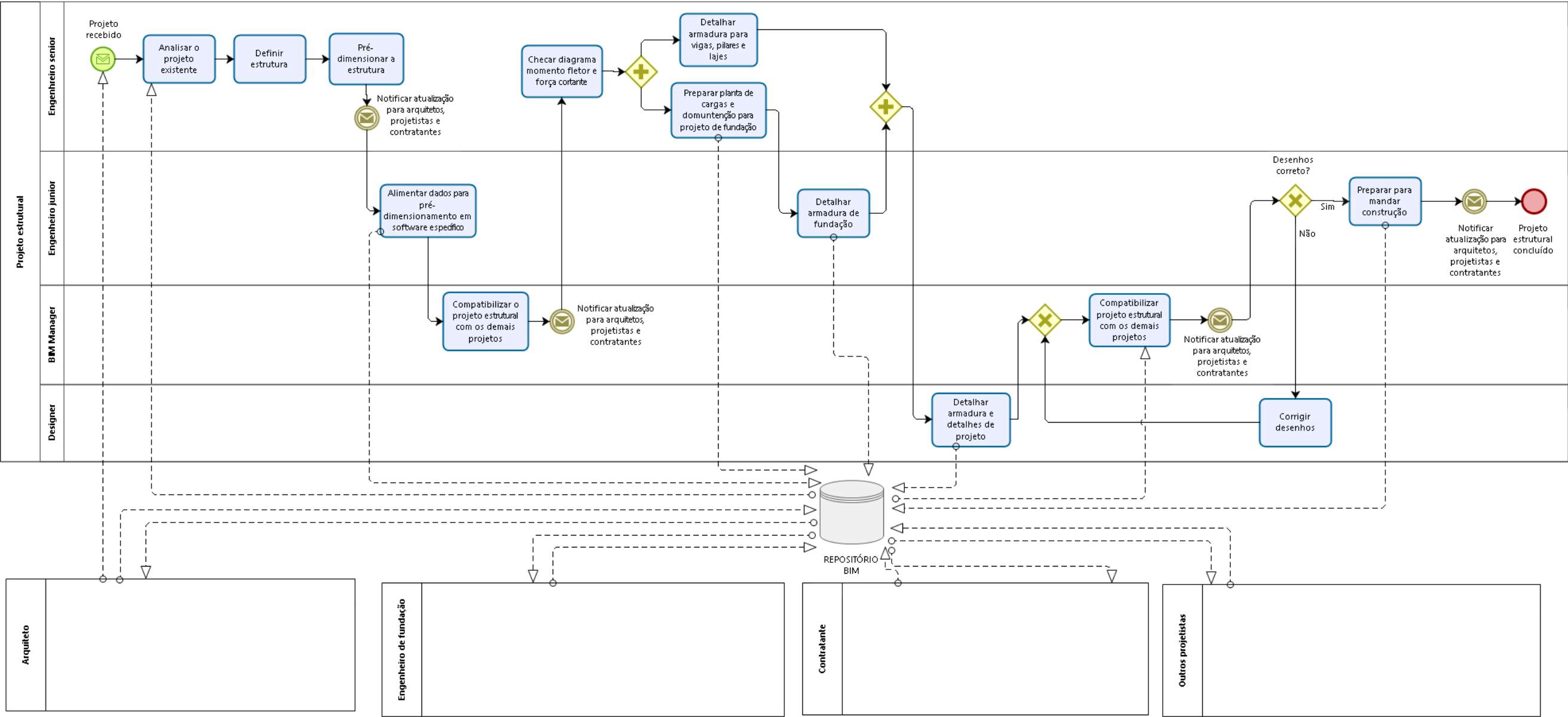
PERFIL DO ESPECIALISTA PROJETO	PERGUNTAS RELACIONADAS A VALIDAÇÃO DO PROCESSO DE MANUTENÇÃO
ESPECIALISTA 1	
1. Sua atividade atual é exercida: ☒ No setor da construção civil ☐ Na academia 2. Tempo de experiência profissional/área de conhecimento: ☐ 1 a 2 anos ☐ 3 a 5 anos ☐ 6 a 9 anos ☒ 10 a 15 anos ☐ Acima de 16 anos 3. Em qual área da empresa/conhecimento já atuou? ☒ Projetos ☐ Construção ☒ Manutenção ☒ Demolição ☐ Outras 4. Atualmente em qual área da empresa/pesquisa atua? ☒ Projetos ☐ Construção ☒ Manutenção ☐ Demolição ☐ Outras	5. Conforme o mapa da proposta de processo está estruturado, você acredita que é necessário adicionar algum profissional/ participante? Se sim, exemplifique. Não 6. Conforme o mapa da proposta de processo está estruturado, você acredita que é necessário retirar algum profissional/ participante? Se sim, exemplifique. Não 7. Conforme o mapa da proposta de processo está estruturado, você acredita que é necessário alterar alguma tarefa? Se sim, exemplifique. Na Corretiva e na Preventiva, a tarefa "Alimentar modelo e banco de dados" poderia ser "Alimentar e Analisar modelo e banco de dados", ou colocar uma nova tarefa. 8. Conforme o mapa da proposta de processo está estruturado, você acredita que é necessário adicionar alguma tarefa? Se sim, exemplifique. Acredito que na Preventiva, em paralelo ao subprocesso que inicia com "Definir localização de sensores" e termina em "Vistoriar anomalia" deveria ter um processo para manutenção preventiva sem o uso de 9. Conforme o mapa da proposta de processo está estruturado, você acredita que é necessário excluir alguma tarefa? Se sim, exemplifique. Não 10. Conforme o mapa da proposta de processo está estruturado, você acredita que o fluxo do processo está correto? Se não, exemplifique. Sim 11. Conforme o mapa da proposta de processo está estruturado, você sugeriria alguma modificação? Apenas as que já sugeri 12. Essa proposta de processo poderia proporcionar uma maior quantidade de informações a respeito da estrutura? Sim 13. Essa proposta de processo poderia proporcionar uma melhor comunicação entre participantes? Sem dúvidas 14. Qual tipo de manutenção representada nesse processo seria mais beneficiada com a implantação do BIM, ao comparar-se ao processo tradicional sem BIM? A manutenção preventiva devido ao uso de sensores.

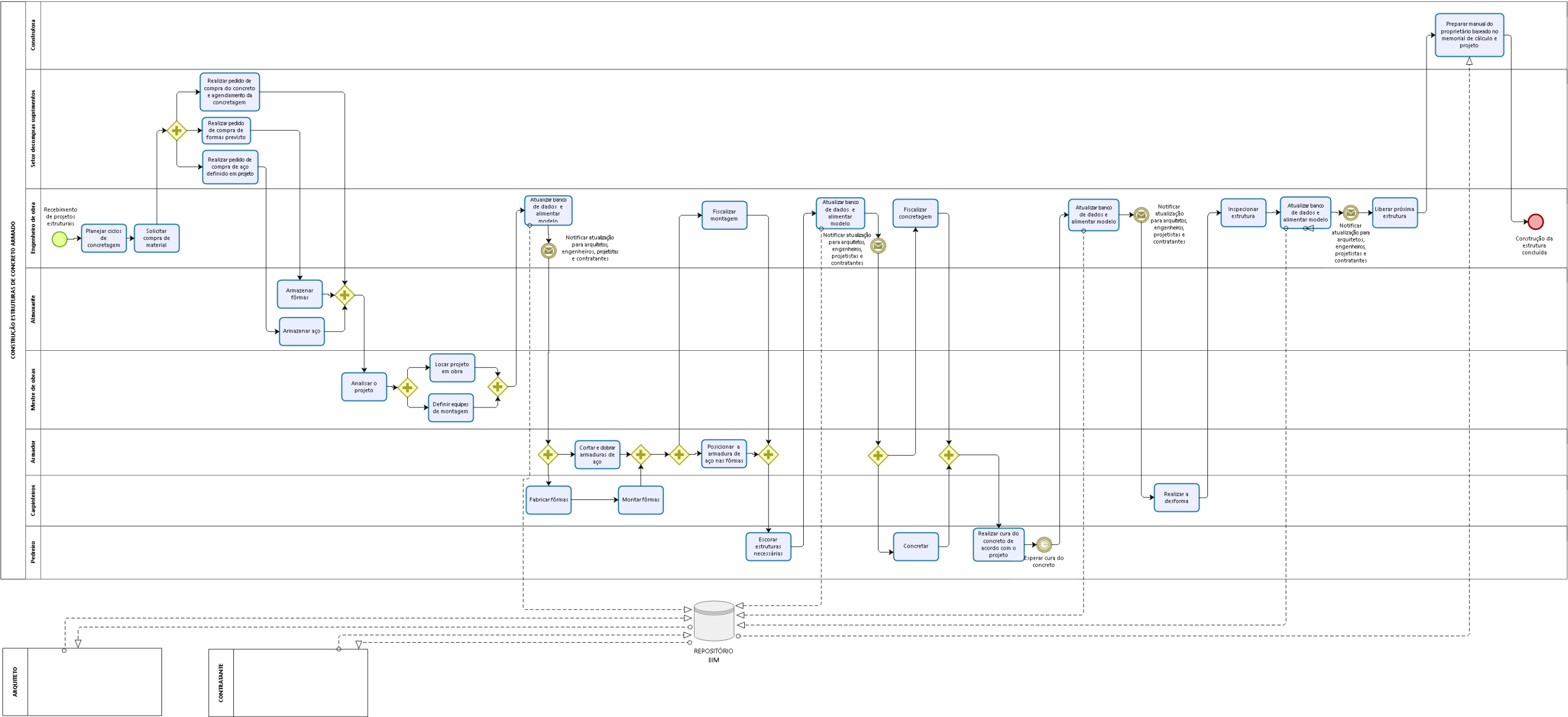
PERFIL DO ESPECIALISTA PROJETO	PERGUNTAS RELACIONADAS A VALIDAÇÃO DO PROCESSO DE MANUTENÇÃO
ESPECIALISTA 5	
1. Sua atividade atual é exercida: ☒ No setor da construção civil ☐ Na academia 2. Tempo de experiência profissional/área de conhecimento: ☐ 1 a 2 anos ☐ 3 a 5 anos ☐ 6 a 9 anos ☐ 10 a 15 anos ☒ Acima de 16 anos 3. Em qual área da empresa/conhecimento já atuou? ☒ Projetos ☒ Construção ☒ Manutenção ☒ Demolição ☐ Outras 4. Atualmente em qual área da empresa/pesquisa atua? ☒ Projetos ☐ Construção ☐ Manutenção ☐ Demolição ☐ Outras	5. Conforme o mapa da proposta de processo está estruturado, você acredita que é necessário adicionar algum profissional/ participante? Se sim, exemplifique. Nos dois processo apresentados eu colocaria a figura do engenheiro estrutural para interagir com o processo. 6. Conforme o mapa da proposta de processo está estruturado, você acredita que é necessário retirar algum profissional/ participante? Se sim, exemplifique. Não 7. Conforme o mapa da proposta de processo está estruturado, você acredita que é necessário alterar alguma tarefa? Se sim, exemplifique. Não 8. Conforme o mapa da proposta de processo está estruturado, você acredita que é necessário adicionar alguma tarefa? Se sim, exemplifique. Não 9. Conforme o mapa da proposta de processo está estruturado, você acredita que é necessário excluir alguma tarefa? Se sim, exemplifique. Não, acredito que está ok. 10. Conforme o mapa da proposta de processo está estruturado, você acredita que o fluxo do processo está correto? Se não, exemplifique. Sim, está correto. 11. Conforme o mapa da proposta de processo está estruturado, você sugeriria alguma modificação? Apenas a já citada. 12. Essa proposta de processo poderia proporcionar uma maior quantidade de informações a respeito da estrutura? Com a utilização do BIM, sim. 13. Essa proposta de processo poderia proporcionar uma melhor comunicação entre participantes? Sim. 14. Qual tipo de manutenção representada nesse processo seria mais beneficiada com a implantação do BIM, ao comparar-se ao processo tradicional sem BIM? A preventiva

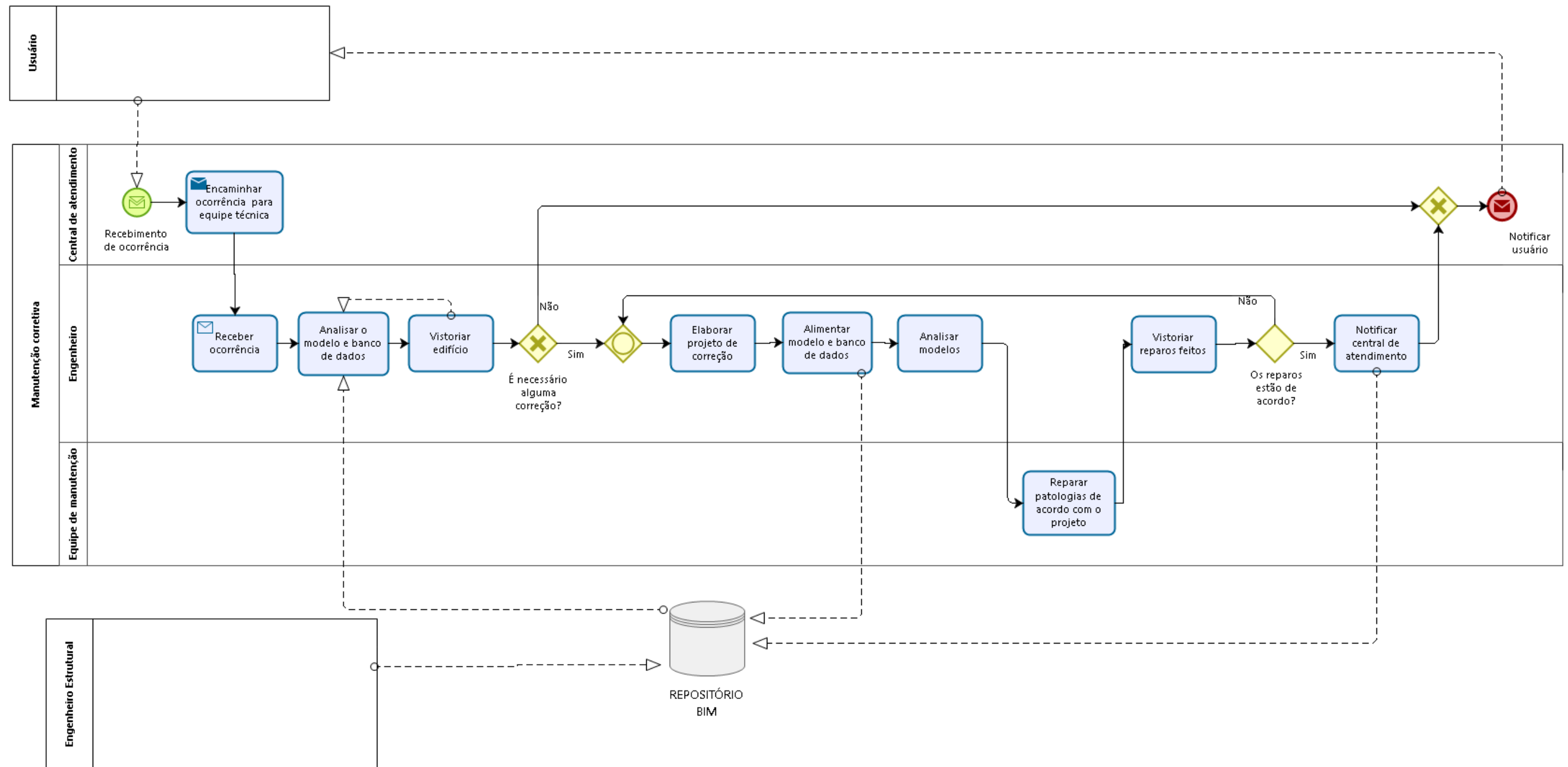
PERFIL DO ESPECIALISTA CONSTRUÇÃO	PERGUNTAS RELACIONADAS A VALIDAÇÃO DO PROCESSO DE DEMOLIÇÃO
ESPECIALISTA 2 1. Sua atividade atual é exercida: ☒ No setor da construção civil ☐ Na academia 2. Tempo de experiência profissional/área de conhecimento: ☐ 1 a 2 anos ☐ 3 a 5 anos ☐ 6 a 9 anos ☒ 10 a 15 anos ☐ Acima de 16 anos 3. Em qual área da empresa/conhecimento já atuou? ☒ Projetos ☐ Construção ☒ Manutenção ☒ Demolição ☐ Outras 4. Atualmente em qual área da empresa/pesquisa atua? ☒ Projetos ☐ Construção ☒ Manutenção ☐ Demolição ☐ Outras	5. Conforme o mapa da proposta de processo está estruturado, você acredita que é necessário adicionar algum profissional/ participante? Se sim, exemplifique. SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE para aprovação de PGRCC. SECRETARIA DE URBANISMO para emissão de Alvará de demolição. 6. Conforme o mapa da proposta de processo está estruturado, você acredita que é necessário retirar algum profissional/ participante? Se sim, exemplifique. Não 7. Conforme o mapa da proposta de processo está estruturado, você acredita que é necessário alterar alguma tarefa? Se sim, exemplifique. Acredito que é necessário mapear os processos de aprovação de projetos dentro dos órgãos públicos mencionados no item 5. 8. Conforme o mapa da proposta de processo está estruturado, você acredita que é necessário adicionar alguma tarefa? Se sim, exemplifique. Conforme mencionado no tópico 7. 9. Conforme o mapa da proposta de processo está estruturado, você acredita que é necessário excluir alguma tarefa? Se sim, exemplifique. Não 10. Conforme o mapa da proposta de processo está estruturado, você acredita que o fluxo do processo está correto? Se não, exemplifique. Sim 11. Conforme o mapa da proposta de processo está estruturado, você sugeriria alguma modificação? Conforme mencionado no tópico 7. 12. Conforme o mapa da proposta de processo está estruturado, seria possível uma maior obtenção de dados que prevejam a destinação de resíduos? Pelo modelo BIM poder agregar informações de quantitativos facilita esses levantamentos.

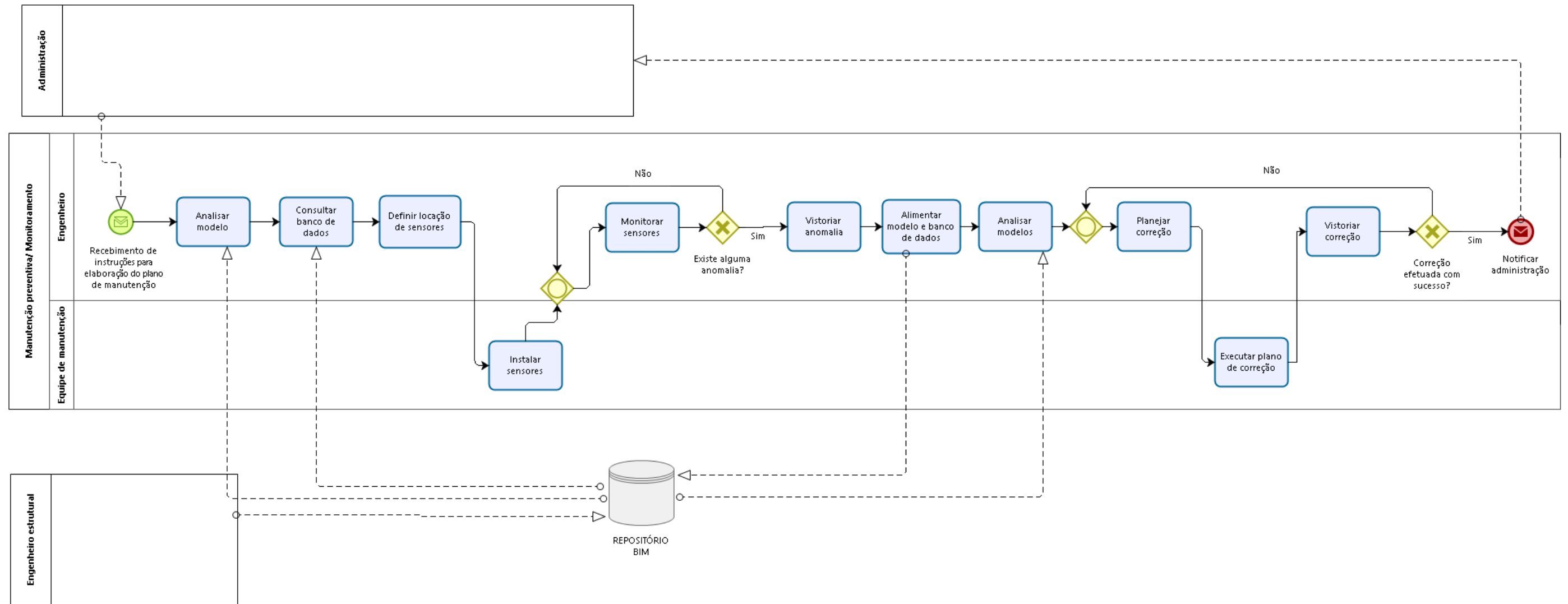
PERFIL DO ESPECIALISTA DEMOLIÇÃO	PERGUNTAS RELACIONADAS A VALIDAÇÃO DO PROCESSO DE DEMOLIÇÃO
ESPECIALISTA 4 1. Sua atividade atual é exercida: ☒ No setor da construção civil ☒ Na academia 2. Tempo de experiência profissional/área de conhecimento: ☐ 1 a 2 anos ☐ 3 a 5 anos ☐ 6 a 9 anos ☒ 10 a 15 anos ☐ Acima de 16 anos 3. Em qual área da empresa/conhecimento já atuou? ☒ Projetos ☐ Construção ☐ Manutenção ☒ Demolição ☐ Outras 4. Atualmente em qual área da empresa/pesquisa atua? ☒ Projetos ☐ Construção ☐ Manutenção ☒ Demolição ☐ Outras	5. Conforme o mapa da proposta de processo está estruturado, você acredita que é necessário adicionar algum profissional/ participante? Se sim, exemplifique. Na verdade, senti falta de se diferenciar desconstrução de demolição. Especialmente quando se cogita utilizar BIM, supõe-se que o processo de desconstrução/demolição será precedido de um inventário do que existe no local, o que permitiria, por hipótese, dizer se o material que será removido será passível de reaproveitamento ou não. Ao menos preliminarmente. Outro ponto que merece destaque é quanto à simplificação do processo de descarte. Compreendo as dificuldades inerentes, mas seria oportuno pensar no reaproveitamento in loco dos materiais como uma terceira possibilidade de destino final. Não me ficou claro pelo detalhamento se você está trabalhando apenas com a parte da estrutura de concreto armado. Se sim, ok. Mas ainda sim poder-se-ia cogitar o reaproveitamento da estrutura. Não deixar de observar que atualmente a destinação de resíduos precisa observar o que dispõe a Resolução Conama 307/02 e subsequentes. 6. Conforme o mapa da proposta de processo está estruturado, você acredita que é necessário retirar algum profissional/ participante? Se sim, exemplifique. Vale o comentário acima. Eu acredito que a análise do impacto ambiental da forma como foi proposta já contemplaria o processo de identificação da geração de resíduos e respectivos destinos. Para 7. Conforme o mapa da proposta de processo está estruturado, você acredita que é necessário alterar alguma tarefa? Se sim, exemplifique. Não entendi o que consiste a penúltima etapa do processo com a atualização do banco de dados. Não me ficou claro a origem das informações desta "nova estrutura" ou "novos materiais". Não sei se estes dados seria gerados no planejamento da demolição ou seriam um processo autônomo de projetar a reforma. Fiquei em dúvida. 8. Conforme o mapa da proposta de processo está estruturado, você acredita que é necessário adicionar alguma tarefa? Se sim, exemplifique. Já comentado 9. Conforme o mapa da proposta de processo está estruturado, você acredita que é necessário excluir alguma tarefa? Se sim, exemplifique. Idem. 10. Conforme o mapa da proposta de processo está estruturado, você acredita que o fluxo do processo está correto? Se não, exemplifique. Idem. 11. Conforme o mapa da proposta de processo está estruturado, você sugeriria alguma modificação? Acredito que sim. Mas me parece faltar integração com as demais etapas de planejamento e processos construtivos, como comentei. 12. Conforme o mapa da proposta de processo está estruturado, seria possível uma maior obtenção de dados que prevejam a destinação de resíduos? Sim. Acredito que a predição de resíduos seria uma opção

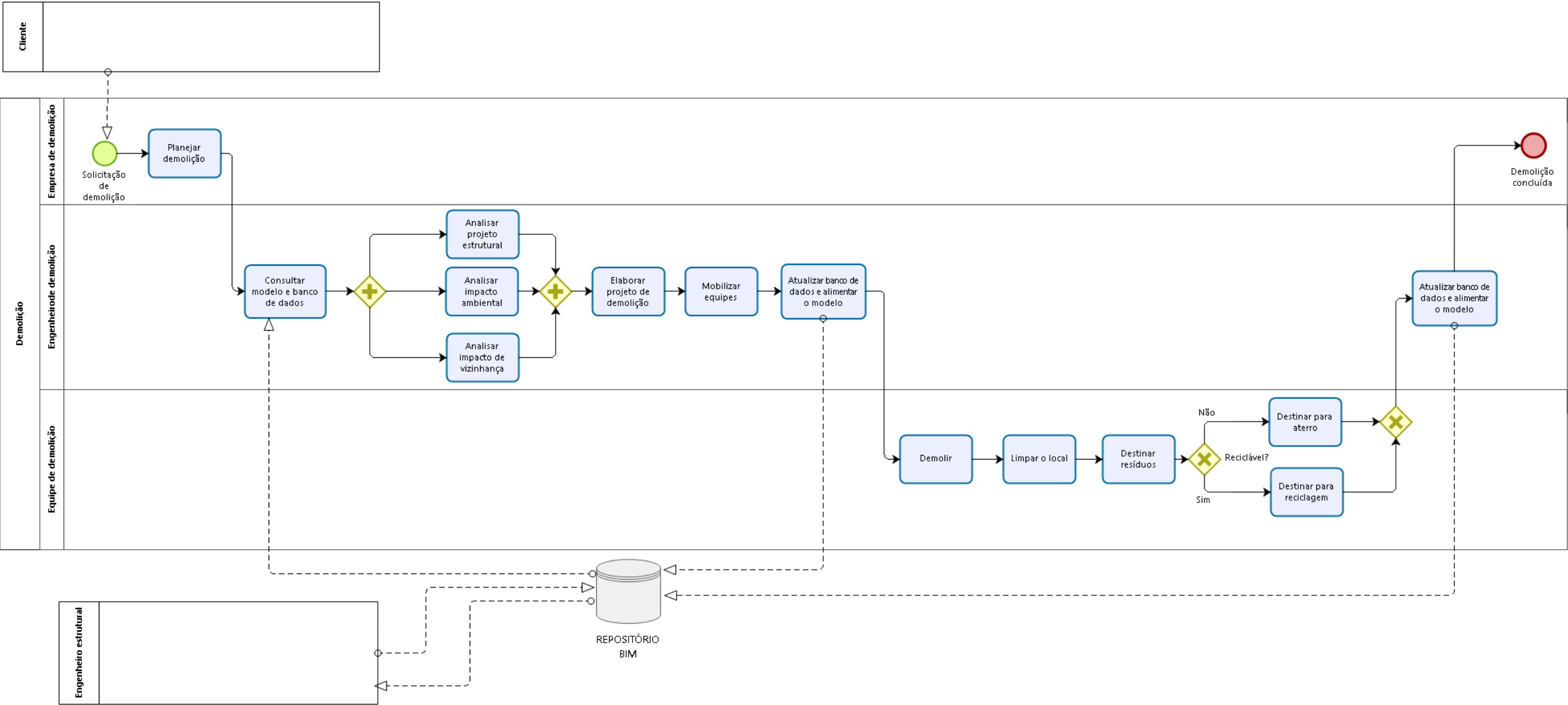
APÊNDICE H – PRIMEIRA RODADA DELPHI E PERFIL DOS ESPECIALISTAS











APÊNDICE I – PRIMEIRA RODADA DELPHI E PERFIL DOS ESPECIALISTAS

PERGUNTAS RELACIONADAS A VALIDAÇÃO DO PROCESSO DE PROJETO	
ESPECIALISTA 1	
5.	Conforme o mapa da proposta de processo está estruturado, você acredita que é necessário adicionar algum profissional/ participante? Se sim, exemplifique. Não.
6.	Conforme o mapa da proposta de processo está estruturado, você acredita que é necessário retirar algum profissional/ participante? Se sim, exemplifique. Não.
7.	Conforme o mapa da proposta de processo está estruturado, você acredita que é necessário alterar alguma tarefa? Se sim, exemplifique. Tarefa "Corrigir desenhos" poderia ser "Corrigir desenhos técnicos".
8.	Conforme o mapa da proposta de processo está estruturado, você acredita que é necessário adicionar alguma tarefa? Se sim, exemplifique. Não.
9.	Conforme o mapa da proposta de processo está estruturado, você acredita que é necessário excluir alguma tarefa? Se sim, exemplifique. Não.
10.	Conforme o mapa da proposta de processo está estruturado, você acredita que o fluxo do processo está correto? Se não, exemplifique. Não.
11.	Conforme o mapa da proposta de processo está estruturado, você sugeriria alguma modificação? Alterar a pergunta do ponto de decisão de Desenhos corretos? Para detalhes técnicos corretos?
12.	Durante o processo, você acha necessária a notificação dos outros profissionais a cada nova atualização do modelo? Exemplifique? Sim.
13.	Na sua avaliação, o processo proposto irá facilitar a compatibilização de processos? Sim.

PERGUNTAS RELACIONADAS A VALIDAÇÃO DO PROCESSO DE PROJETO	
ESPECIALISTA 5	
5.	Conforme o mapa da proposta de processo está estruturado, você acredita que é necessário adicionar algum profissional/ participante? Se sim, exemplifique. Não.
6.	Conforme o mapa da proposta de processo está estruturado, você acredita que é necessário retirar algum profissional/ participante? Se sim, exemplifique. Não.
7.	Conforme o mapa da proposta de processo está estruturado, você acredita que é necessário alterar alguma tarefa? Se sim, exemplifique. Não.
8.	Conforme o mapa da proposta de processo está estruturado, você acredita que é necessário adicionar alguma tarefa? Se sim, exemplifique. Não.
9.	Conforme o mapa da proposta de processo está estruturado, você acredita que é necessário excluir alguma tarefa? Se sim, exemplifique. Não.
10	Conforme o mapa da proposta de processo está estruturado, você acredita que o fluxo do processo está correto? Se não, exemplifique. Sim.
11	Conforme o mapa da proposta de processo está estruturado, você sugeriria alguma modificação? Não, o processo já está bem estruturado.
12	Durante o processo, você acha necessária a notificação dos outros profissionais a cada nova atualização do modelo? Exemplifique? Sim.
13	Na sua avaliação, o processo proposto irá facilitar a compatibilização de processos? Sim.

PERGUNTAS RELACIONADAS A VALIDAÇÃO DO PROCESSO DE CONSTRUÇÃO	
ESPECIALISTA 2	
5. Conforme o mapa da proposta de processo está estruturado, você acredita que é necessário adicionar algum profissional/ participante? Se sim, exemplifique.	Não.
6. Conforme o mapa da proposta de processo está estruturado, você acredita que é necessário retirar algum profissional/ participante? Se sim, exemplifique.	Não.
7. Conforme o mapa da proposta de processo está estruturado, você acredita que é necessário alterar alguma tarefa? Se sim, exemplifique.	Não.
8. Conforme o mapa da proposta de processo está estruturado, você acredita que é necessário adicionar alguma tarefa? Se sim, exemplifique.	Não.
9. Conforme o mapa da proposta de processo está estruturado, você acredita que é necessário excluir alguma tarefa? Se sim, exemplifique.	Não.
10. Conforme o mapa da proposta de processo está estruturado, você acredita que o fluxo do processo está correto? Se não, exemplifique.	Sim.
11. Conforme o mapa da proposta de processo está estruturado, você sugeriria alguma modificação?	Não, está de acordo.
12. Conforme o mapa da proposta de processo está estruturado, você acredita que a logística da obra teria impactos positivos?	Sim.
13. Na fase de construção você concorda que é o engenheiro de obras que deve alimentar o modelo?	Sim.

PERGUNTAS RELACIONADAS A VALIDAÇÃO DO PROCESSO DE CONSTRUÇÃO	
ESPECIALISTA 3	
5. Conforme o mapa da proposta de processo está estruturado, você acredita que é necessário adicionar algum profissional/ participante? Se sim, exemplifique.	Não.
6. Conforme o mapa da proposta de processo está estruturado, você acredita que é necessário retirar algum profissional/ participante? Se sim, exemplifique.	Não.
7. Conforme o mapa da proposta de processo está estruturado, você acredita que é necessário alterar alguma tarefa? Se sim, exemplifique.	Não.
8. Conforme o mapa da proposta de processo está estruturado, você acredita que é necessário adicionar alguma tarefa? Se sim, exemplifique.	Não.
9. Conforme o mapa da proposta de processo está estruturado, você acredita que é necessário excluir alguma tarefa? Se sim, exemplifique.	Não.
10. Conforme o mapa da proposta de processo está estruturado, você acredita que o fluxo do processo está correto? Se não, exemplifique.	Sim agora está certo.
11. Conforme o mapa da proposta de processo está estruturado, você sugeriria alguma modificação?	Não.
12. Conforme o mapa da proposta de processo está estruturado, você acredita que a logística da obra teria impactos positivos?	Sim.
13. Na fase de construção você concorda que é o engenheiro de obras que deve alimentar o modelo?	Sim.

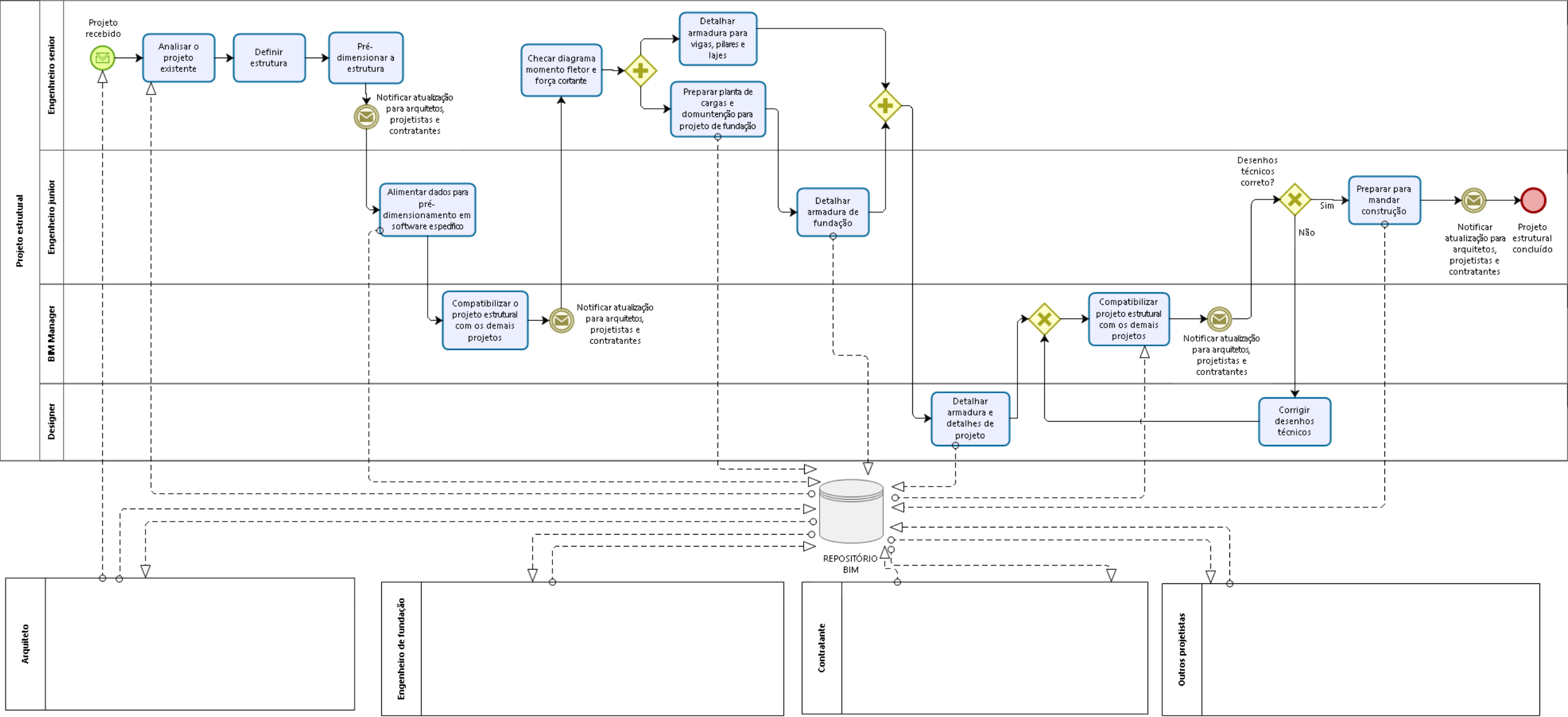
PERGUNTAS RELACIONADAS A VALIDAÇÃO DO PROCESSO DE MANUTENÇÃO	
ESPECIALISTA 1	
5.	Conforme o mapa da proposta de processo está estruturado, você acredita que é necessário adicionar algum profissional/ participante? Se sim, exemplifique. Não.
6.	Conforme o mapa da proposta de processo está estruturado, você acredita que é necessário retirar algum profissional/ participante? Se sim, exemplifique. Não.
7.	Conforme o mapa da proposta de processo está estruturado, você acredita que é necessário alterar alguma tarefa? Se sim, exemplifique. Não.
8.	Conforme o mapa da proposta de processo está estruturado, você acredita que é necessário adicionar alguma tarefa? Se sim, exemplifique. Não.
9.	Conforme o mapa da proposta de processo está estruturado, você acredita que é necessário excluir alguma tarefa? Se sim, exemplifique. Não
10.	Conforme o mapa da proposta de processo está estruturado, você acredita que o fluxo do processo está correto? Se não, exemplifique. Acrescentar uma entrada para o Engenheiro Estrutural no repositório BIM, nos dois processos.
11.	Conforme o mapa da proposta de processo está estruturado, você sugeriria alguma modificação? Só o que foi sugerido.
12.	Essa proposta de processo poderia proporcionar uma maior quantidade de informações a respeito da estrutura? Sim
13.	Essa proposta de processo poderia proporcionar uma melhor comunicação entre participantes? Sem dúvidas
14.	Qual tipo de manutenção representada nesse processo seria mais beneficiada com a implantação do BIM, ao comparar-se ao processo tradicional sem BIM? A manutenção preventiva devido ao uso de sensores.

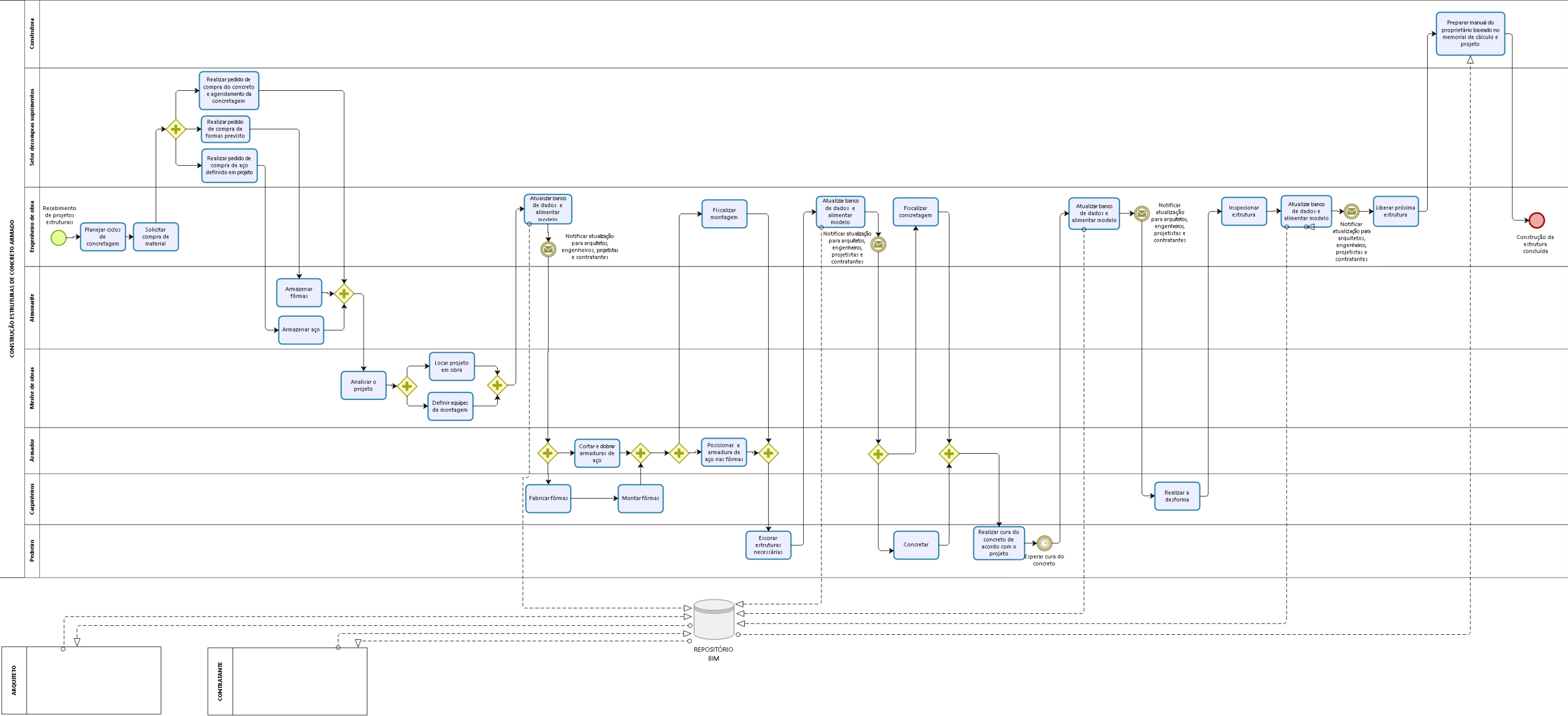
PERGUNTAS RELACIONADAS A VALIDAÇÃO DO PROCESSO DE MANUTENÇÃO	
ESPECIALISTA 5	
5. Conforme o mapa da proposta de processo está estruturado, você acredita que é necessário adicionar algum profissional/ participante? Se sim, exemplifique.	Não
6. Conforme o mapa da proposta de processo está estruturado, você acredita que é necessário retirar algum profissional/ participante? Se sim, exemplifique.	Não
7. Conforme o mapa da proposta de processo está estruturado, você acredita que é necessário alterar alguma tarefa? Se sim, exemplifique.	Não
8. Conforme o mapa da proposta de processo está estruturado, você acredita que é necessário adicionar alguma tarefa? Se sim, exemplifique.	Não
9. Conforme o mapa da proposta de processo está estruturado, você acredita que é necessário excluir alguma tarefa? Se sim, exemplifique.	Não, acredito que está ok.
10. Conforme o mapa da proposta de processo está estruturado, você acredita que o fluxo do processo está correto? Se não, exemplifique.	Sim, está correto.
11. Conforme o mapa da proposta de processo está estruturado, você sugeriria alguma modificação?	Não.
12. Essa proposta de processo poderia proporcionar uma maior quantidade de informações a respeito da estrutura?	Sim.
13. Essa proposta de processo poderia proporcionar uma melhor comunicação entre participantes?	Sim.
14. Qual tipo de manutenção representada nesse processo seria mais beneficiada com a implantação do BIM, ao comparar-se ao processo tradicional sem BIM?	A preventiva

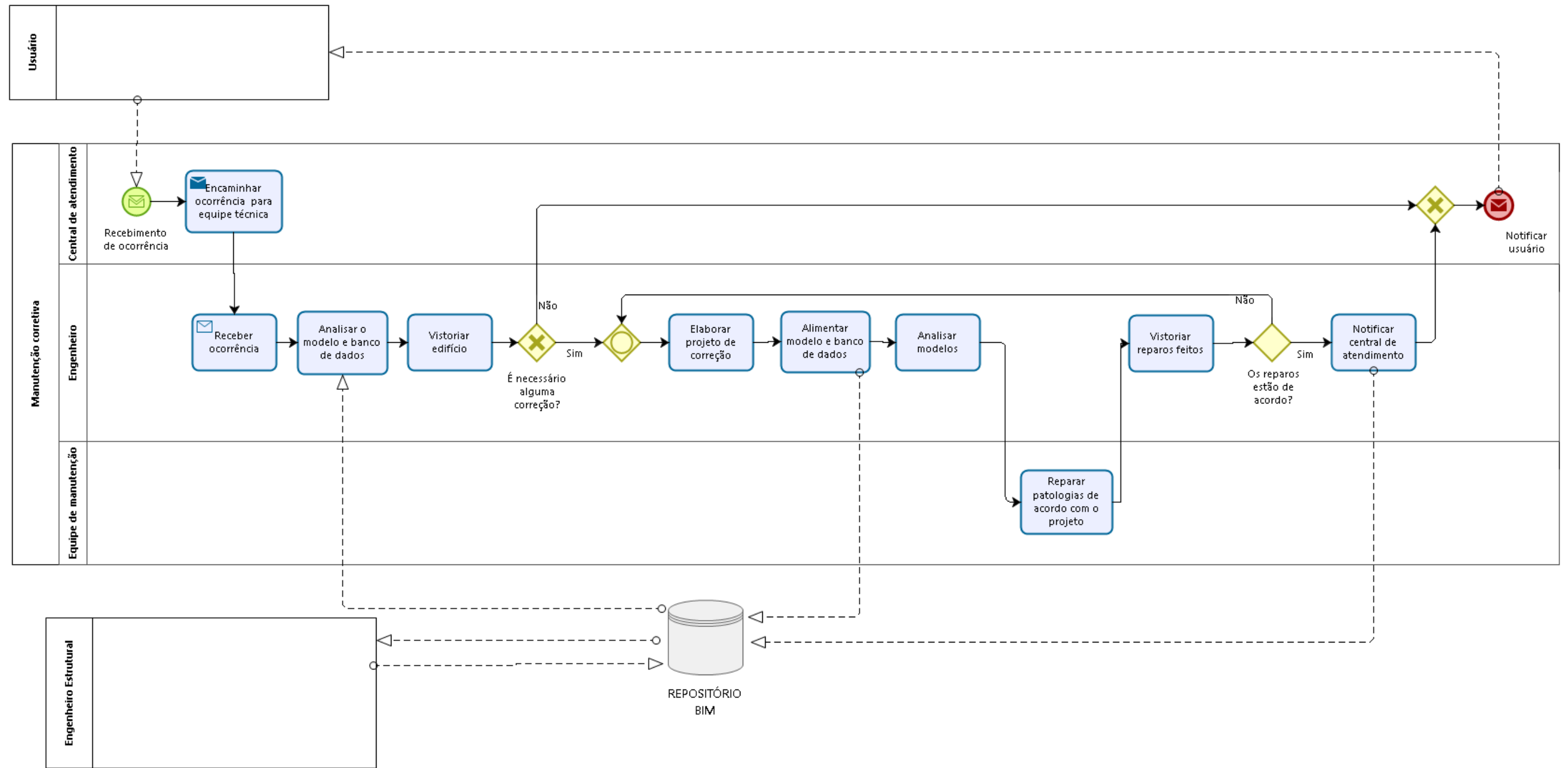
PERGUNTAS RELACIONADAS A VALIDAÇÃO DO PROCESSO DE DEMOLIÇÃO	
ESPECIALISTA 2	
5.	Conforme o mapa da proposta de processo está estruturado, você acredita que é necessário adicionar algum profissional/ participante? Se sim, exemplifique. Não.
6.	Conforme o mapa da proposta de processo está estruturado, você acredita que é necessário retirar algum profissional/ participante? Se sim, exemplifique. Não.
7.	Conforme o mapa da proposta de processo está estruturado, você acredita que é necessário alterar alguma tarefa? Se sim, exemplifique. Não.
8.	Conforme o mapa da proposta de processo está estruturado, você acredita que é necessário adicionar alguma tarefa? Se sim, exemplifique. Não.
9.	Conforme o mapa da proposta de processo está estruturado, você acredita que é necessário excluir alguma tarefa? Se sim, exemplifique. Não.
10.	Conforme o mapa da proposta de processo está estruturado, você acredita que o fluxo do processo está correto? Se não, exemplifique. Sim.
11.	Conforme o mapa da proposta de processo está estruturado, você sugeriria alguma modificação? Não.
12.	Conforme o mapa da proposta de processo está estruturado, seria possível uma maior obtenção de dados que prevejam a destinação de resíduos? Pelo modelo BIM poder agregar informações de quantitativos facilita esses levantamentos.

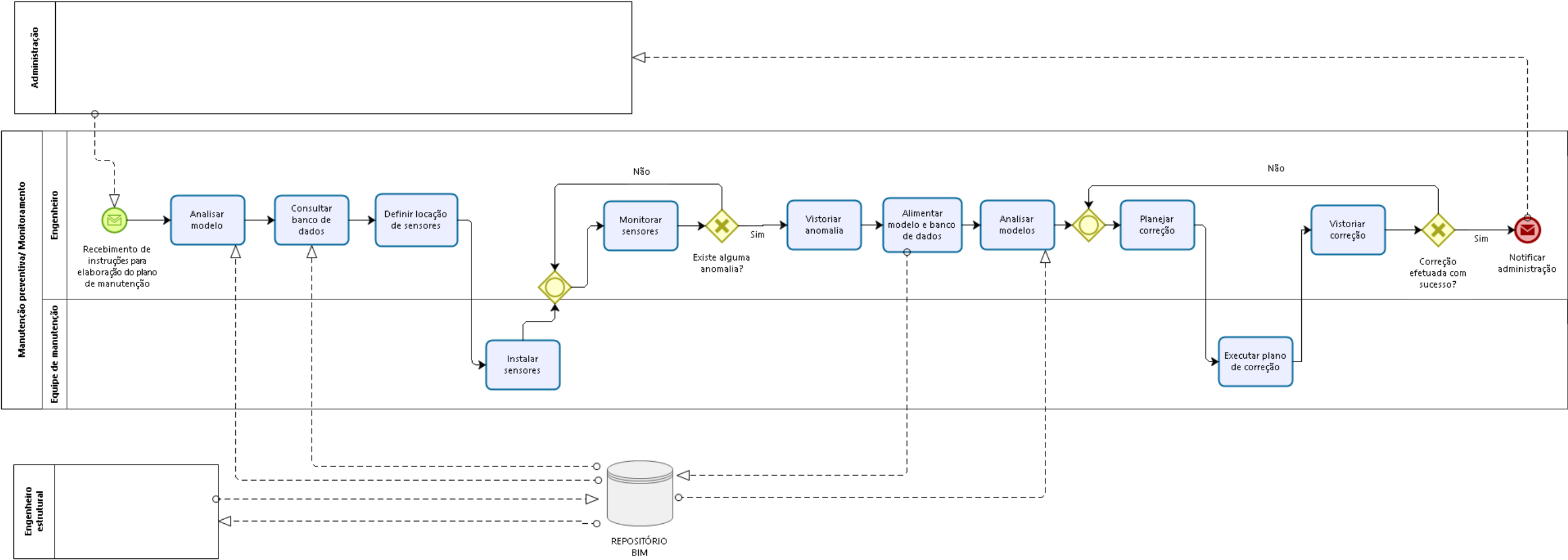
PERGUNTAS RELACIONADAS A VALIDAÇÃO DO PROCESSO DE DEMOLIÇÃO	
ESPECIALISTA 4	
5. Conforme o mapa da proposta de processo está estruturado, você acredita que é necessário adicionar algum profissional/ participante? Se sim, exemplifique.	Não.
6. Conforme o mapa da proposta de processo está estruturado, você acredita que é necessário retirar algum profissional/ participante? Se sim, exemplifique.	Não.
7. Conforme o mapa da proposta de processo está estruturado, você acredita que é necessário alterar alguma tarefa? Se sim, exemplifique.	Não.
8. Conforme o mapa da proposta de processo está estruturado, você acredita que é necessário adicionar alguma tarefa? Se sim, exemplifique.	Não.
9. Conforme o mapa da proposta de processo está estruturado, você acredita que é necessário excluir alguma tarefa? Se sim, exemplifique.	Não.
10. Conforme o mapa da proposta de processo está estruturado, você acredita que o fluxo do processo está correto? Se não, exemplifique.	Sim.
11. Conforme o mapa da proposta de processo está estruturado, você sugeriria alguma modificação?	Não.
12. Conforme o mapa da proposta de processo está estruturado, seria possível uma maior obtenção de dados que prevejam a destinação de resíduos?	Sim.

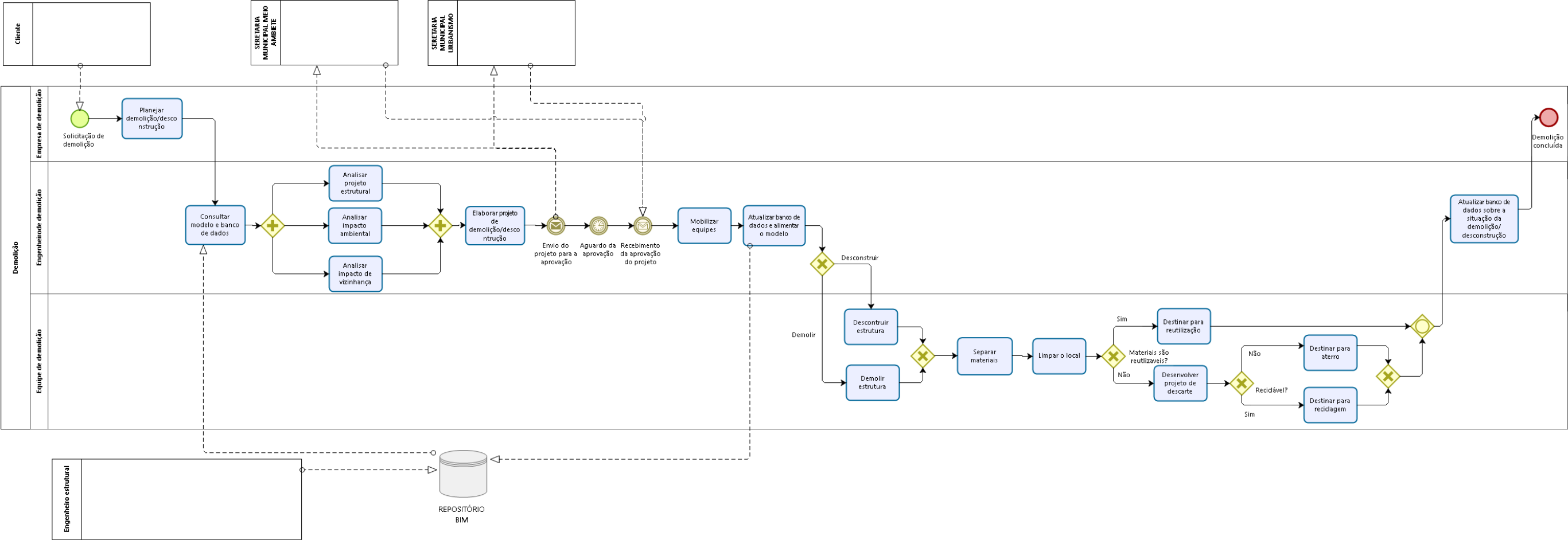
APÊNDICE J – MODELO FINAL TO-BE











APÊNDICE K – ARTIGO “DATA INTEROPERABILITY ASSESSMENT THOUGH IFC FOR BIM IN STRUCTURAL DESIGN – A FIVE-YEAR GAP ANALYSIS”



Journal of Civil Engineering and Management



ISSN: 1392-3730 (Print) 1822-3605 (Online) Journal homepage: <http://www.tandfonline.com/loi/tcem20>

Data interoperability assessment though IFC for BIM in structural design – a five-year gap analysis

Marina Figueiredo Muller, Amanda Garbers, Filipe Esmanioto, Natan Huber, Eduardo Rocha Loures & Osiris Canciglieri Junior

To cite this article: Marina Figueiredo Muller, Amanda Garbers, Filipe Esmanioto, Natan Huber, Eduardo Rocha Loures & Osiris Canciglieri Junior (2017) Data interoperability assessment though IFC for BIM in structural design – a five-year gap analysis, Journal of Civil Engineering and Management, 23:7, 943-954, DOI: [10.3846/13923730.2017.1341850](https://doi.org/10.3846/13923730.2017.1341850)

To link to this article: <http://dx.doi.org/10.3846/13923730.2017.1341850>



Published online: 13 Jul 2017.



Submit your article to this journal [↗](#)



View related articles [↗](#)



View Crossmark data [↗](#)

Full Terms & Conditions of access and use can be found at
<http://www.tandfonline.com/action/journalInformation?journalCode=tcem20>



DATA INTEROPERABILITY ASSESSMENT THROUGH IFC FOR BIM IN STRUCTURAL DESIGN – A FIVE-YEAR GAP ANALYSIS

Marina Figueiredo MULLER, Amanda GARBERS, Filipe ESMANIOTO, Natan HUBER, Eduardo Rocha LOURES, Osiris CANGILIERI Junior

Industrial and Systems Engineering Graduate Program (PPGEPS), Pontifical Catholic University of Paraná (PUCPR), Rua Imaculada Conceição, 1155, Curitiba, Paraná, Brazil

Received 17 Apr 2017; accepted 30 May 2017

Abstract. In the last years the AEC (Architecture, Engineering and Construction) industry has been influenced by the development of Building Information Modelling (BIM). With the creation of complex systems, the need for efficient interoperability arises. Based on a study of BIM interoperability dimensions and its levels, this research presents an interoperability assessment of BIM system in the structural domain, especially considering cast-in-place concrete structures, since they present some special challenges for system interoperability. This assessment was conducted by experiments that imported and exported structural models and structural elements through a non-proprietary standard for BIM models (IFC- Industry Foundation Classes). The experiments were conducted twice, with a five year gap from each other, so the evolution of the interoperability could be assessed as well. The results showed that some special characteristics must be considered in order to achieve efficient interoperability for cast-in-place concrete structures – these structures are monolithic and they have reinforcement steel bars that need detailing. Also, the research showed that in the five-year gap there were evolutions in interoperability, like in object identifiers, which had a considerable improvement. However, some of the major problems remain, such as overlapping of structural parts.

Keywords: interoperability assessment, building information modelling, BIM, industry foundation classes, IFC, AEC industry.

Introduction

The AEC industry commonly presents some individualities, which may lead to distinct needs in communication between stakeholders and companies. This communication needs to happen correctly in all the phases of the lifecycle of a building – (i) planning and design, (ii) construction, (iii) operation, (iv) repair and maintenance and (v) demolition. Each of these phases requires different semantics and workflows. One of these unique characteristics is the fact that the AEC industry creates unique products. Every building and its construction is a singular product, different from any other. Because building models require different semantics for different workflows over a project's lifecycle, the communication in all the phases of the lifecycle of a building needs to happen correctly (Venugopal *et al.* 2015; Wong, Zhou 2015).

This particular scenario amongst other industries means that all buildings need their own specific management and design to be conducted with efficiency and effectiveness. One more characteristic is that the AEC industry is not homogeneous in terms of the involved actors. In one single project there will be architects, engineers from several specialties (civil, structural, hydraulic,

mechanical, electric, etc.) and contractors. In addition, the elaboration of a construction project is highly collaborative, and besides the fact that they usually comprise several areas, these professionals are spread in offices that use different software and platforms. These specific characteristics lead to a pronounced necessity for efficient interoperability between the entities and agents in the AEC environment (Gu, London 2010).

The ISO/IEC 33001:2015 Standard defines interoperability as “the ability of two or more systems or components to exchange information and to use the information that has been exchanged”. Many efforts have been made to address interoperability barriers, and the exchange of information between the various disciplines of the AEC industry is still one major problem (Yang, Zhang 2006). The inefficient or even lack of interoperability may cause several compatibility and clash problems that occasionally may only become evident during the execution stage. The electrical system intersecting doors and windows or the plumbing overlapping with beams or columns are a few examples that exemplify this scenario (Grilo, Jardim-Goncalves 2010).

Corresponding author: Marina Figueiredo Muller
E-mail: marina.fmuller@pucpr.br



To aid this process in the AEC industry, Building information Modelling – BIM was created and has been developed as an important technology to support interoperability in this area. BIM is a process in which building models are created through software; data from all the sectors involved in the lifecycle of the building should be included in the models. However, the main barriers to the adoption of BIM by the market are the difficulties in interoperability among platforms (Grilo, Jardim-Goncalves 2010; Muller *et al.* 2015). This fact leads to a vicious cycle: interoperability between BIM systems doesn't seem to be in a stage where it is satisfactory enough for the adoption of BIM, and in turn BIM must be more widely adopted to in order for interoperability to be improved.

Studies show expenses of 15 million dollars with losses derived from problems concerning the lack of interoperability in the BIM scenario (Venugopal *et al.* 2015). The study of Liu *et al.* (2016) points to the same problem, since many structural engineers often adopt computational and structural modelling software with different formats from BIM and IFC standard. In this regard, Hu *et al.* (2016) advocate that inadequate integration and interoperability continue to cause an economic burden and are often considered key factors for the initial resistance to new technology in project design.

To better address interoperability issues in AEC/BIM, literature points to a need for specific studies on interoperability influence factors and assessment methods (Grilo, Jardim-Goncalves 2010; Jeong *et al.* 2009; Muller *et al.* 2015). With this scenario in mind, the research described in this paper is structured as follows. In Section 1, the background for the research is established, and based on the literature, a process map for cast-in-place concrete structure design companies was developed in a scenario without BIM. This processes map showed that many stages in the design process were focused on clash detection and similar activities. In order to improve this scenario, BIM is proposed as a tool in a new process map. However, for this to become possible, the need for interoperability among platforms is necessary. So experiments focusing on IFC file sharing were developed, to verify whether using BIM as a repository for building design and file sharing was possible or not in the cast-in-place concrete structure domain. The methodology for these experiments is described in Section 2, and the results are presented in Section 3. Finally, conclusions for the experiments and research perspectives are presented.

1. Background and related works

1.1. BIM interoperability

According to the European Interoperability Framework (EIF 2004): "Interoperability means the ability of information and communication technology (ICT) systems and of the business processes they support to exchange data and to enable the sharing of information and knowledge". This EIF's definition can be used in the AEC industry as well, especially through BIM.

In order to characterize an evolution of BIM interoperability, levelling models are proposed, as shown in Figure 1. These values levels express how interoperability through BIM can contribute to companies' competitiveness. Communication is the first and more basic level. In this structure, the main concern is with the use of 3D modelling. This is because 3D visualization allows better understanding, henceforth, better communication of the design. Coordination is the second level. In this stage, users are able to perform clash detection, overlap prevention, etc. The third level is known as cooperation. In this case, full 3D BIM is expected, as well as cost predictions, supply chain visibility, construction and energy simulations, etc. This level is focused on obtaining advantages by sharing work among agents. The fourth level, collaboration, assumes BIM use in collaborative environments. And the fifth level, channel, expects automatized environments permeated through the whole process, including the production stages (Grilo, Jardim-Goncalves 2010).

Chen *et al.* (2008) interpret interoperability through three axes: concerns, barriers and approaches. Approaches could be understood as interoperability levels. This means that interoperability can be in a level where it is considered integrated, unified or federated. Interoperability barriers can be conceptual, technical or organizational. This means that there is more to interoperability than the concerns related to software and technical issues. In order for interoperability to occur properly, not only technological issues should be solved, but also processes must be aligned and organizations must commit to interoperability.

Finally, authors divide interoperability concerns in four groups (concerns) and four levels. These levels can be linked to Building smart's guidelines and specific documents for better interoperability in the AEC industry (Building Smart is an international agency concerned with innovation and interoperability in the AEC industry, and will be discussed further on). Figure shows four interoperability concerns described in literature (Chen *et al.* 2008), that can be related to BIM dimensions, as described:

- Business: is concerned with interoperability in the strategic and organizational levels. This correlates

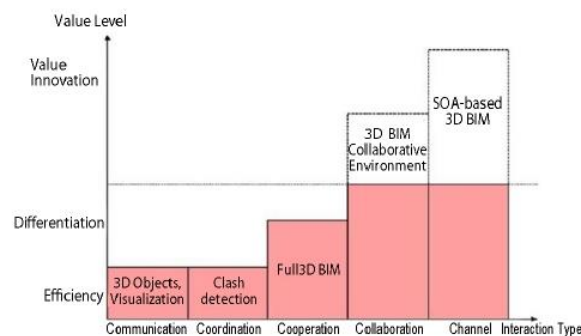


Fig. 1. Interoperability value levels (Grilo, Jardim-Goncalves 2010)

to BIM because the use of BIM is usually a strategic action in the company. Stakeholders need to be involved in the adoption process.

- **Process:** is related with the requirements necessary to align the processes for construction, design, and operation. By using BIM instead of traditional 2D CAD, companies change not only their way of designing, but it alters the whole process of building and operation. This is strongly related to Building Smarts' IDM – Information Delivery Manual, which formalizes the processes throughout the construction industry (Eastman *et al.* 2008).
- **Service:** service interoperability is the concern of an enterprise to aggregate, register and consume services of external sources. It focuses on the need to make all services from different companies work together. In BIM this is represented by the role of suppliers that need to provide detailed information about their products. This is also strongly connected to a Building smart document. In this case, it is the IFD (International Framework for Dictionaries) or BuildingSMART Data Dictionary (bSDD). Since suppliers need well-established definitions and ontologies for a better interoperability in the AEC industry. Also Rezgui *et al.* (2013) point that a big barrier to BIM adoption is the fact that agents in the service field (clients, designers and contractors) are still using 2D or paper-based files.
- **Data:** this concern refers to the need for different software, platforms and systems to work together. Multimedia content, digital resources and documents need to be usable, available and comprehensive by all stakeholders (Eastman *et al.* 2008). This concern is addressed by Building Smart through their open format, the Industry foundation Classes (IFC).

The levels in Figure 2 are based on the interoperability value levels (Grilo, Jardim-Goncalves 2010) and Buildings Smart's roadmap to interoperability (2014). The concerns described by Chen *et al.* (2008), form the vertical axis. This connection between both proposals can be described as a path for improved interoperability in the

AEC industry (Muller *et al.* 2015). Considering the figure described, it can be observed that the research developed in this paper is currently located in the highlighted box – IFC concerns for data interoperability – currently on the second level.

Also, further literature considers three interlocking fields of activities pertaining BIM, instead of the four enterprise interoperability concerns described in Figure 2. The first field is the technology field, which is related to the development of software, hardware and systems. Next, the process field is related to procurement, design, construction, manufacture, use, management and maintain of the structures. Finally, the policy field gathers tasks focused on delivering research, preparing practitioners and minimizing conflicts in the AEC industry. This study is located in the intersection of the policy field, since it aims to develop interoperability aiming to minimize data conflicts, and the technological field, considering its relationship to software development through IFC data files (Venugopal *et al.* 2012).

1.2. Building smart's interoperability standard for BIM

BIM systems are one sort of object oriented CAD. This means that, for example, a wall is perceived by the system as an object with the properties of a wall, such as thickness, height, length, as well as non-geometric characteristics, such as cost, material, suppliers, etc. These characteristics are Building Object Behaviours (BOB). This requires special cares and concerns with interoperability, since the information of the objects must be transferred correctly to agents involved in the design and construction processes. BIM is also a kind of parametric modelling and can be distinguished from CAD modelling by these characteristics (Lee *et al.* 2006):

- Users can manipulate and generate shapes, add constraints and new parametric relations. Also, these shapes may be altered by editing the values in the pre-defined parameters.
- A parametric system should use 3D modelling, since 2D is not sufficient to represent a complex model.
- Such systems should be object-based and feature-based. These objects can be constrained to each other if necessary.

These inefficiencies in interoperability can lead to rework, mismatched information, uncertainty and insecurity about the reliability of the data. Faced with this scenario, professionals in the AEC industry created the International Alliance for Interoperability (IAI) – current Building Smart, which aims to promote innovation and interoperability between architecture, engineering and construction software. To ensure this interoperability Building Smart developed Industry Foundation Classes (IFC) (Skibniewski, Zavadskas 2013). The IFC is a neutral standard, and its main goal is to standardize the classes of object-oriented systems in an open format, so that multiple applications can use it to share data (Build-

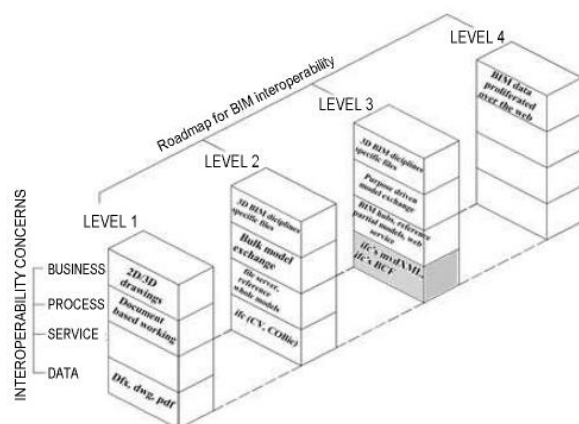


Fig. 2. Roadmap for BIM interoperability

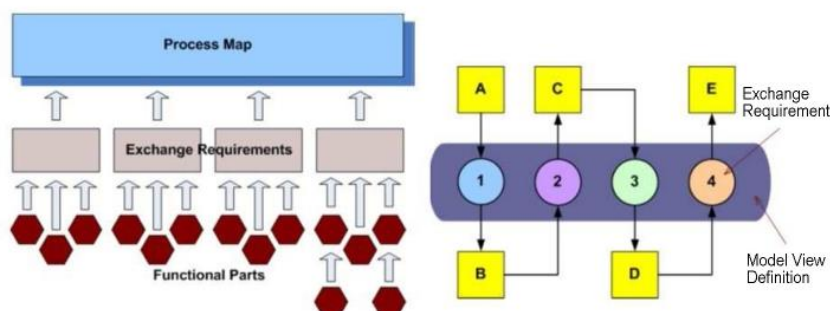


Fig. 3. In the right process maps, exchange requirements and Functional parts are shown. In the left the schema for model view definitions can be seen (Wix, Karlshoej 2006)

ingSMART 2014). IFC is also registered in the International Organization for Standardization. Due to this fact, IFC is widely used in architecture, engineering, construction and facility management (Lee *et al.* 2016a, 2016b).

In order to aid the improvement of interoperability in BIM platforms, BuildingSMART develops four main document types. The first document is the IDM – Information Delivery Manual, a BuildingSMART's standard for processes. It defines details of how, when and what kind of information should be supplied by which agent and at which stage of the project (Wix, Karlshoej 2006). The IDM is comprised of functional parts, exchange requirements and Process Maps. The requirements appear in detail in the Information Delivery Manual (IDM), which contains implementable specifications for software vendors (Lee *et al.* 2016 a). A functional part describes information as a small set of IFC information needed to perform a certain task. Exchange requirements are the sets of model information applied to each case, and the process maps organize these sets of information, as shown in Figure 3 (Wix, Karlshoej 2006).

As a second artefact, Model View Definitions (MVDs) are related to software requirements for IFC implementation. It formalizes the information exchange processes for systems, as shown in Figure 3 (BuildingSMART 2014; Wix, Karlshoej 2006). The MVDs map the system import/export features and IFC. This binding correctness must be checked by developers and users. Some studies have developed automatic checking; however, this automatic checking does not apply to all cases, especially considering heterogeneous industry as the AEC field, so users may have to resort to manual checking of MVDs and IFCs (Lee *et al.* 2016b). The third document is the IFD (International Framework for Dictionaries) or BuildingSMART Data Dictionary (bSDD). It is a dictionary of terms for libraries and ontologies (Wix, Karlshoej 2006). Finally, as the fourth artefact, Industry Foundation Classes (IFC) represents a neutral and open standard for BIM. It may be used to exchange information between different systems and platforms (BuildingSMART 2014).

The development, implementation and deployment of BIM standards should follow three basic stages. In the first stage, developers elicit knowledge from the in-

dustry, model the business process and prepare an IDM. The second stage is called the “construct” stage. In this moment MVDs and specifications are developed and implemented. In the final stage, guidelines are prepared for deployment and early adopters' experiences are used to refine the BIM standard (Sacks *et al.* 2010).

1.3. Interoperability for concrete structures.

The exchange of information between architectural projects and structural projects still lacks adequate support, as well as the automation of structural analysis and exchange between diverse software applications in an open environment (Qin *et al.* 2011). One special requirement for interoperability for concrete structures, are the reinforcement bars. A lack of development in this area is commonly described. IFC is not perfectly prepared to receive this kind of information, and some software does not export this information as well (Kim *et al.* 2013).

To provide efficient interoperability of reinforcement bars, some authors suggest that these elements should be shared as individual elements within assembly, considering their relationships to the parts in which the bars are inserted. It is also important that systems consider the differences in the reinforcement bars of cast-in-place and precast concrete structures, since both have different needs (Aram *et al.* 2013). Also, semantic web can be used to promote interoperability between BIM models and product catalogues, such as precast concrete structures (Costa, Madrazo 2015). However, cast-in-place concrete structures don't follow pre-determined shapes or catalogued elements, and have other special requirements for interoperability.

When considering shapes for modelled objects, literature presents three possibilities: (i) objects can be disjoint (meaning that they never occupy the same space), (ii) nested (meaning that one shape is completely inside the other) and (iii) overlapping (when one shape is only partially occupying the same space as the other). These concepts are extremely important for cast-in-place concrete structures, because structure elements often are overlapping (such as the place where beams meet columns) or nested (such as reinforcement bars inside any given structural element). It is important for software to

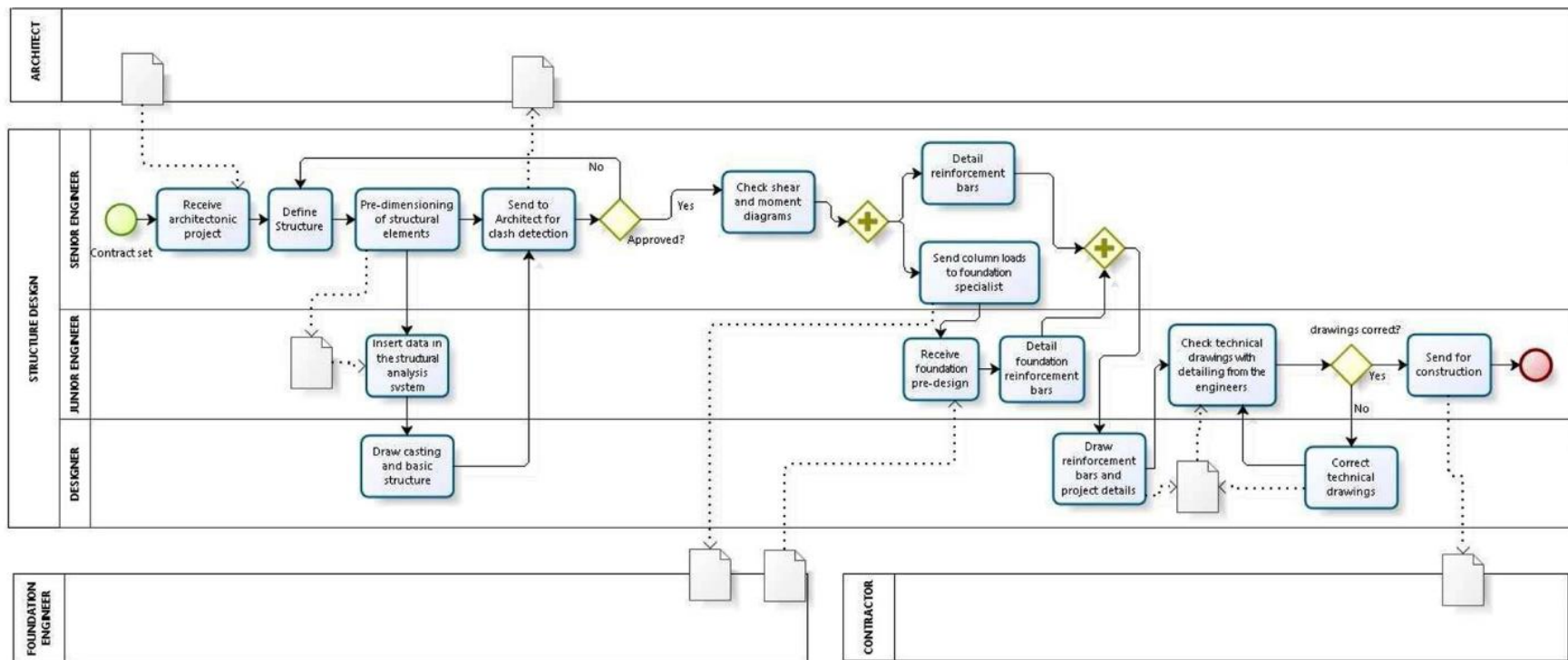


Fig. 4. Process map of a structural design company

subtract the intersecting areas, in order not to generate errors in the concrete quantity take-offs (Venugopal *et al.* 2012).

1.4. Process maps

Based on literature and in industrial best practices (Grilo, Jardim-Goncalves 2010; Kim *et al.* 2013; Muller *et al.* 2015), a process map using BPMN to detail the information flow and tasks in a structural engineering design company was carried out. Firstly, a company that doesn't use BIM was considered. As shown in Figure 4, the process without BIM, requires many stages of clash checking, verification and file transferring. These file transferring's are often not in the same format, so users need to export files to different formats and sometimes even re-enter data in different systems.

Based on further literature (Aram *et al.* 2013; Sacks *et al.* 2010; Venugopal *et al.* 2012), it was possible to suggest a process map with the use of BIM, shown in Figure 5. This represents an improvement on the process, since many tasks and file transfers could be simplified or even excluded, minimizing errors and saving time. In this map, BIM is shown as a repository to aggregate all the information needed.

With the use of a BIM model as a repository, these processes become much more automatized, and designers may insert their data directly in the model repository, minimizing or automating clash and error detection. For this process to work, all users involved must either work on the same platform or use an interoperable open file such as IFC. From the process maps, it can be noticed in the importance of data interoperability, since for the use of a BIM repository, users should agree on an interoperable format. Hence, the experiments with data interoperability were developed. The present paper presents interoperability tests of IFC for cast-in-place concrete structures, and some suggestions for improvement of this standard, in an attempt to facilitate this process, allowing users to communicate and interoperate properly.

1.5. Interoperability experiments for IFC

Generally two non-visual methods can be used when analysing IFC models: direct text or direct objects. As the text may vary, the best method is the comparison of objects. The procedure for certification of Building Smart uses a combination of visual and syntactic tests. At first, models originated in an application are exported and imported within the same system and then exported to other software. The certification process is based on real life needs of IFC interoperability. It can be done by exporting simple objects, such as a wall, a wall with an opening, or by testing complete and more complex models, such as a commercial building. Tests with complex models allow evaluators to assess the interoperability in situations that are closer to the reality (Jeong *et al.* 2009).

Three main kinds of interoperability export/import tests are described: one-to-many, one-to-self and many-

to-many. In one-to-many tests, one model generated in one system is exported to many other systems. In many-to-many tests, models from lots of different software are exported to other systems and in one-to-self experiments, one model is exported and imported in the same application (Lipman *et al.* 2011).

When discussing interoperability assessment, it should be taken into consideration what kind of BIM objects are being analysed. Such objects can be divided into three main categories (Eastman *et al.* 2008):

- *Made to be stored*, such as plumbing and electrical parts, are modelled only once according to the catalogue.
- *Custom made*, such as windows and doors, are also catalogued, but need to have parameters that the user may change.
- *Designed-engineered components*, more complex, need to be designed, detailed and manufactured according to customers' requests, so the BIM components need to be developed for each situation and specific software for these purposes can be used.

Since literature, along with the development of the process maps, showed some fragility in BIM data transferences, this research focused primarily in the data aspects of BIM interoperability, mainly IFC. This is because the lacks of correct standards lead to breaks in the information and process flows. Based on these import/export experiments described in this section, and especially considering cast-in-place concrete structures singularities as a Designed-Engineered component, experiments to evaluate IFC interoperability were developed. These experiments are better described in the next section, as well as its results and suggestions for improvement based on them.

2. Data analysis experiment methodology

The method used in this study is founded in a data analysis experiment, through file import/export from proprietary formats to IFC. The experiments were conducted twice, with a gap of five years to better analyse the development and drawbacks of data interoperability. This study focuses on cast-in-place concrete structures, which are designed components and present the biggest challenge for BIM modelling.

The experiment was based on experiments presented in Jeong *et al.* (2009) with precast concrete structures. Even though experiments are similar, the object of analysis presents some great differences, mainly due to the fact that precast concrete structures are subdivided in individual pieces, while cast-in-place concrete structures are monolithic, creating some special needs and barriers for interoperability as stated before.

Then, a similar procedure was developed in the experiments. Files containing structural elements were exported and imported among platforms, as shown in Figure 6. Not only the BIM applications were used, but also the IFC model viewer was employed. This allowed

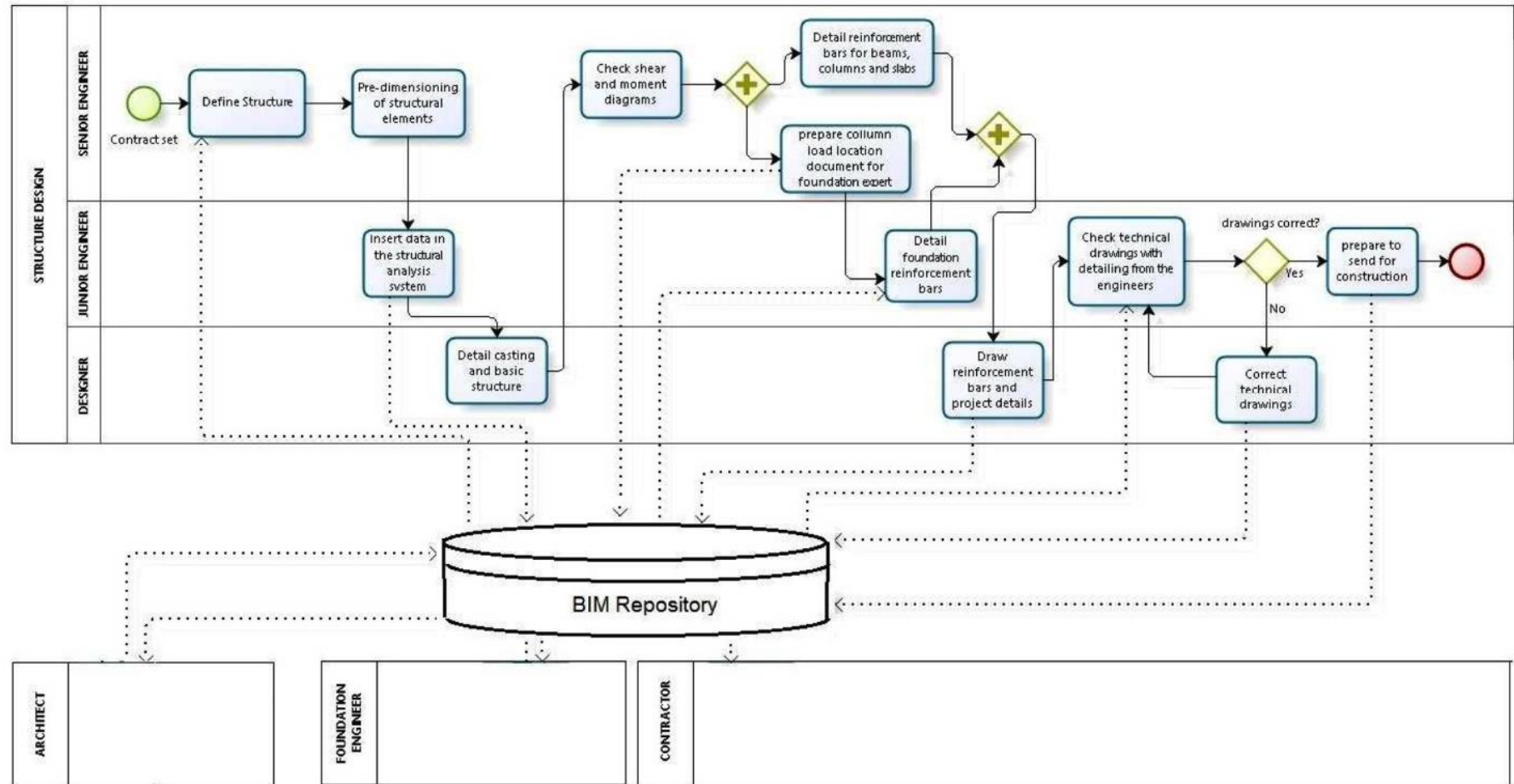


Fig. 5. Process map of a structural design company using BIM

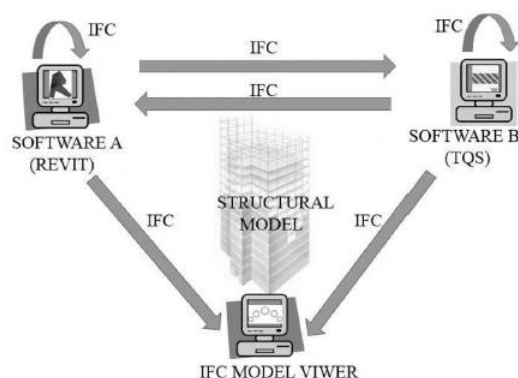


Fig. 6. Model transfers

researchers to verify if the software were having difficulties reading the model or exporting it. This kind of test is called many-to-many (including one-to-self roundtrips) (Lipman *et al.* 2011).

Data collecting was performed visually, by checking the model and marking on a spreadsheet which structural elements and their characteristics had been transferred correctly. The structural elements analysed in these experiments were: beams, slabs, columns, stairs and ramps (stairs and ramps were included in the category slabs). The characteristics checked in the models were based on the literature as well. Considering the special needs for cast-in-place concrete structures, the items selected to be analysed in this experiment were:

- Material/type, considering whether the material for the concrete characteristics were transferred correctly, and if the element was seen as the object as which it was proposed (pillar, beam etc.);
- Placement of the objects;
- GUID (Globally Unique Identifier) which is the code that identifies the objects;
- Geometry.

The transfers were marked as complete, incomplete and partial. Scores in a system similar to the Likert scale were attributed: 1 to complete, 0.5 to partial and 0 for incomplete. Then an average was calculated involving all the characteristics of each element. Authors in other studies (Jeong *et al.* 2009) had used only binary association in tests, and often needed to justify why an item was considered correctly transferred or not, so the need for a partial option during checking was perceived. Many ob-

jects were modelled, this included a complete building and sets of different kinds of elements:

- Beams: single span, multiple span, containing an opening, curved, with height variation and sloped.
- Slabs: simple monolithic, with an opening, ribbed, curved, sloped (ramp) and stairs.
- Columns: rectangular (one and two story-height), round, with section variation and L-shaped.
- Building: two apartments by floor, three story height with parking spaces below the building.

Some of the examples of the models produced in software A and B can be seen in Figure 7. After five years from the first tests, the experiments were conducted again using more recent versions of the software. The tests had the same structure as the first ones, using the same structure types and the same software.

3. Results from the data interoperability experiment

When transferring IFC models, some systems work as a sort of black box. They can generate IFC files, but are unable to receive IFC files. This was a great problem perceived in the first experiment. Software B could not receive IFC files, so a big part of the transactions was incomplete, as seen in Figure 8. This causes users to need to import reference files through 2D systems. Challenges presented by cast-in-place concrete structural models go beyond the fact that the structure is monolithic (for example, there is no physical separation between slab and beam), there is also the need for intricate reinforcing bars detailing, the use of specific concrete type, etc.

In the geometry analysis, the most difficulties met were related to sectioning the objects. Even though cast-in-place concrete structures are monolithic, BIM systems present difficulties treating it as such. A slab does not end when it meets a beam, and neither does the beam end when it meets the slab, so the volume in this intersection belongs to the slab as well as to the beam. This creates another problem, because when elements get sectioned, they are assigned with different GUIDs (Globally Unique Identifier) as well. The errors perceived the transferences of the GUIDs were mainly due to geometry errors. Systems have presented some difficulties with more complex geometries such as curves as well. Often curved elements were broken in smaller pieces, as shown in Figure 9.

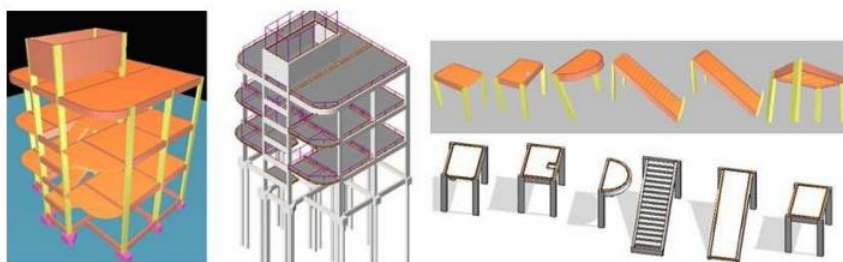


Fig. 7. Examples of models generated in Software A and Software B

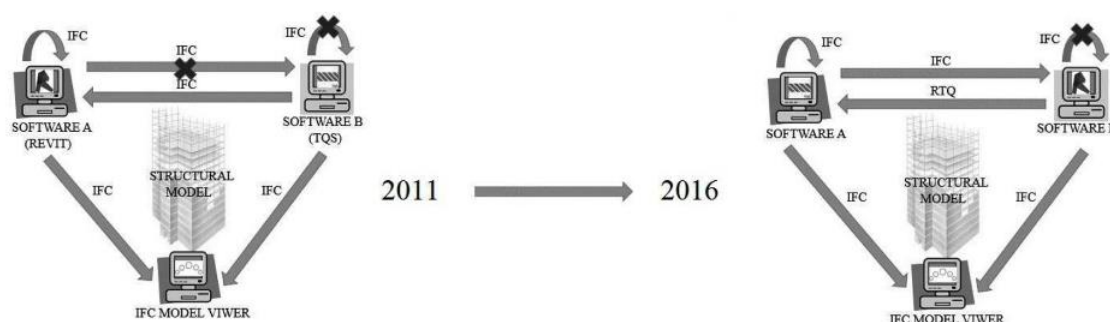


Fig. 8. Model transfers in the experiments: on the right, the first experiments transfers are shown; on the left, model transfers from the second experiment can be seen (the transfers not executed are marked with an X)

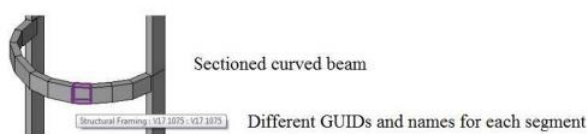


Fig. 9. Curved beam split into smaller parts

Another big concern was the reinforcing bars and detailing. Detailing is an important part of concrete structures, and hardly any information was transferred in the IFC files properly. Only in one case the reinforcing bars were transferred, and still as a characteristic of the object, not as a bar itself. No loads were transferred in any cases either. The need for better transferring of concrete structures models was also confirmed by literature (Aram *et al.* 2013).

Table 1 shows the averages described in the methodology section. The results show us that the biggest problem lies with the material characteristics, as it has the lowest of the average scores. This probably happens because including material information in the objects is a somewhat new concept in the AEC industry. Before BIM, models had extensive geometry, but all material information was presented in writing.

In the second stage of the experiment conducted 5 years later, few changes and improvements were noticed, and in some cases, even some drawbacks could be perceived. This highlights the need for improvement in data interoperability for BIM. Even though software B is still not able to import IFC files, developers presented a plugin for Software A. This way, system A exports its files directly to proprietary files used by software B (called RTQ). A total of five transfers were analysed as shown in Figure 8. The same scoring methodology was used as in the original experiment. As in the first experiment, four characteristics were analysed through visual inspection: GUID, placement, geometry and material.

The averages from the second analysis can be seen in Table 2, and it could be perceived that materials are still the area that needs the most development in cast-in-place concrete structures, since they still have the lowest score. The new version of the software also had particularly a great difficulty in processing objects with openings and curved geometry. This time, some loads were transferred to the slabs; however in some cases the files joined permanent and variable loads. This can become a problem, because different types of loads use different coefficients and go through different combinations to de-

Table 1. Results from the first experiments

OBJECT	GUID	PLACEMENT	GEOMETRY	MATERIAL	TOTAL
COLUMNS	0.583	0.667	0.500	0.383	0.537
BEAMS	0.618	0.667	0.513	0.538	0.583
SLABS	0.583	0.633	0.578	0.525	0.580
TOTALS	0.595	0.656	0.530	0.482	0.567

Table 2. Results from the second experiments (2016)

OBJECT	GUID	PLACEMENT	GEOMETRY	MATERIAL	TOTAL
COLUMNS	0.780	0.800	0.740	0.800	0.780
BEAMS	0.767	0.967	0.767	0.733	0.809
SLABS	0.800	0.933	0.733	0.583	0.762
TOTALS	0.782	0.900	0.747	0.705	0.784

termine the final moments, sheer forces and compression on the columns.

Considering the average total score of the evaluations, it can be perceived that in the five year gap, there was an improvement of approximately 38% (considering an average of 0.567 for the first analysis and of 0.784 for the second).

A common problem found during transfers was related to the geometry of some structural elements as curves, sloped beams and beams with multiple spans. These structural objects were sectioned in multiple elements, losing their original structure and therefore creating new GUID codes. The model should consider the elements overlapping, since not only this is more geometrically accurate to reality, but also probably would prevent the program from creating a new GUID for each section of the structural element.

A suggestion to overcome the problems with loads and reinforcement bars is for both to be considered objects in IFC schema. These objects should be hosted in the structural elements, so this would make it easier for the systems to generate elements and to transfer them correctly. Another possibility to improve interoperability is for systems to give users the option to use the regulations of their own regions. This would allow a much greater integration with systems from different countries.

In addition, material wise, the tests didn't present satisfactory results as well. It is very important for material information to be transferred correctly, since the kind of concrete used relates directly to structural resistance. Loads should also be an object of attention, since loads presented great problems in the transfers. These two areas are especially relevant, since errors in these characteristics can lead to structural accidents, even endangering human lives. This aligns to views on the use of BIM for structural design by Jeong *et al.* (2009). According to the authors, the correct transference of material and loads are essential to efficient modelling.

Conclusions

Building information modelling is forecasted to be an important agent on interoperability in the AEC industry according to literature (Skibniewski, Zavadskas 2013). However, in order to develop and improve IFC data interoperability, the special needs of the AEC industry should not be disregarded in the development of the software and their ability to export proprietary files to IFC files. Special attention needs to be given to geometrical characteristics of the models, materials and detailing in order to develop interoperability through IFC in cast-in-place concrete structures.

However, in a gap of 5 years, some evolution in extensibility and adaptability were observed in all four elements analysed. The rise in 38% interoperability score shows some improvement in the field. This advance in the data concern is essential for improvement in busi-

ness, process and services concerns, since professionals are not likely to advance with BIM to higher value levels without technical developments in the more basic levels, especially concerning data. This is due to the fact that when data is not transferred correctly, not much can be developed in the structural analysis and modelling field. So, cast-in-place concrete's unique characteristics should be considered in future versions of IFC, especially the overlapping of structural parts, the use of reinforcement bars and the need for precision in loads and materials.

It could also be noticed that the use of BIM would represent an improvement on the structural design process. The process can become much shorter, and files exchanges are minimized, especially considering BIM as a repository. Also the communication with other companies can be greatly improved, since a BIM repository may connect structural engineers, architects, foundation engineers and contractors. Since literature and the development of the process maps showed some fragility in BIM data interoperability, this research focused primarily in the data aspects of BIM interoperability. The other three concerns (Service, Process and Business) should be addressed with more depth in the future in further research.

References

- Aram, S.; Eastman, C.; Sacks, R. 2013. Requirements for BIM platforms in the concrete reinforcement supply chain, *Automation in Construction* 35: 1–17. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2013.01.013>
- BuildingSMART. 2014. *Technical roadmap for process support* [online], [cited 10 May 2016]. Available from Internet: <http://www.buildingsmart.org/>.
- Chen, D.; Doumeingts, G.; Vernadat, F. 2008. Architectures for enterprise integration and interoperability: Past, present and future, *Computers in Industry* 59(7): 647–659. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2007.12.016>
- Costa, G.; Madrazo, L. 2015. Connecting building component catalogues with BIM models using semantic technologies: an application for precast concrete components, *Automation in Construction* 57: 239–248. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2015.05.007>
- Eastman, C.; Teicholz, P.; Sacks, R.; Liston, K. 2008. *BIM handbook: a guide to building information modelling for owners, managers, designers, engineers, and contractors*. New Jersey: John Wiley and Sons. <https://doi.org/10.1002/9780470261309>
- EIF. 2004. *European interoperability framework for pan-European eGovernment services*. Luxembourg: European Communities.
- Grilo, A.; Jardim-Goncalves, R. 2010. Value proposition on interoperability of BIM and collaborative working environments, *Automation in Construction* 19(5): 522–530. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2009.11.003>
- Gu, N.; London, K. 2010. Understanding and facilitating BIM adoption in the AEC industry, *Automation in Construction* 19(8): 988–999. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2010.09.002>
- Hu, Z.-Z.; Zhang, X.-Y.; Wang, H.-W.; Kassem, M. 2016. Improving interoperability between architectural and structural design models: An industry foundation classes-based approach with web-based tools, *Automation in Construction* 66: 29–42. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2016.02.001>

- ISO/IEC 33001:2015 *Information technology-process assessment-concepts and terminology*. Genève: International Organization for Standardization, 2015.
- Jeong, Y.-S.; Eastman, C. M.; Sacks, R.; Kaner, I. 2009. Benchmark tests for BIM data exchanges of precast concrete, *Automation in Construction* 18(4): 469–484. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2008.11.001>
- Kim, Y.-W.; Azari-N., R.; Yi, J.-S.; Bae, J. 2013. Environmental impacts comparison between on-site vs. prefabricated Just-In-Time (prefab-JIT) rebar supply in construction projects, *Journal of Civil Engineering and Management* 19(5): 647–655. <https://doi.org/10.3846/13923730.2013.795186>
- Lee, G.; Sacks, R.; Eastman, C. M. 2006. Specifying parametric building object behavior (BOB) for a building information modeling system, *Automation in Construction* 15(6): 758–776. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2005.09.009>
- Lee, Y.-C.; Eastman, C. M.; Solihin, W.; See, R. 2016a. Modularized rule-based validation of a BIM model pertaining to model views, *Automation in Construction* 63: 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2015.11.006>
- Lee, Y. C.; Eastman, C. M.; Solihin, W. 2016b. An ontology-based approach for developing data exchange requirements and model views of building information modeling, *Advanced Engineering Informatics* 30(3): 354–367. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2016.04.008>
- Lipman, R.; Palmer, M.; Palacios, S. 2011. Assessment of conformance and interoperability testing methods used for construction industry product models, *Automation in Construction* 20(4): 418–428. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2010.11.011>
- Liu, Z.; Zhang, F.; Zhang, J. 2016. The building information modeling and its use for data transformation in the structural design stage, *Journal of Applied Science and Engineering* 19(3): 273–284.
- Muller, M. F.; Loures, E. R.; Canciglieri, O. 2015. Interoperability assessment for building information modelling, in *3rd International Conference on Mechatronics, Robotics and Automation (ICMRA 2015)*, 224–231. <https://doi.org/10.2991/icmra-15.2015.45>
- Qin, L.; Deng, X.-y.; Liu, X.-l. 2011. Industry foundation classes based integration of architectural design and structural analysis, *Journal of Shanghai Jiaotong University (Science)* 16(1): 83–90. <https://doi.org/10.1007/s12204-011-1099-2>
- Rezgoui, Y.; Beach, T.; Rana, O. 2013. A governance approach for BIM management across lifecycle and supply chains using mixed-modes of information delivery, *Journal of Civil Engineering and Management* 19(2): 239–258. <https://doi.org/10.3846/13923730.2012.760480>
- Sacks, R.; Kaner, I.; Eastman, C. M.; Jeong, Y.-S. 2010. The Rosewood experiment – Building information modeling and interoperability for architectural precast facades, *Automation in Construction* 19(4): 419–432. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2009.11.012>
- Skibniewski, M. J.; Zavadskas, E. K. 2013. Technology development in construction: a continuum from distant past into the future, *Journal of Civil Engineering and Management* 19(1): 136–147. <https://doi.org/10.3846/13923730.2012.756060>
- Venugopal, M.; Eastman, C. M.; Sacks, R.; Teizer, J. 2012. Semantics of model views for information exchanges using the industry foundation class schema, *Advanced Engineering Informatics* 26(2): 411–428. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2012.01.005>
- Venugopal, M.; Eastman, C. M.; Teizer, J. 2013. An ontology-based analysis of the industry foundation class schema for building information model exchanges, *Advanced Engineering Informatics* 29(4): 940–957. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2015.09.006>
- Wix, J.; Karlshoej, J. 2006. *Information delivery manual guide to components and development methods*. buildingSMART International.
- Wong, J. K. W.; Zhou, J. 2015. Enhancing environmental sustainability over building life cycles through green BIM: A review, *Automation in Construction* 57: 156–165. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2015.06.003>
- Yang, Q. Z.; Zhang, Y. 2006. Semantic interoperability in building design: Methods and tools, *CAD Computer Aided Design* 38(10): 1099–1112. <https://doi.org/10.1016/j.cad.2006.06.003>

Marina Figueiredo MULLER. Is the coordinator of the group of BIM studies at Pontifical Catholic University of Parana (PUCPR), where she currently works as an assistant professor for the civil engineering course, teaching concrete structures and Building Information Modelling. Also, she coordinates a program for disciplines (including BIM) in English for foreign and Brazilian students. She is a PhD candidate at the Industrial and Systems Engineering Graduate Program, developing researches on BIM interoperability. Marina Muller graduated at Federal University of Paraná (UFPR) as a Civil as an Engineer in 2008 and as a Master of Science in 2011, focusing her studies in BIM interoperability for cast-in-place concrete structures.

Amanda GARBERS. Graduated as a Civil Engineer in 2016 at Pontifical Catholic University of Parana (PUCPR) and is currently specializing in Management and Execution for Construction at the Engineering Institute (IDD).

Filipe ESMANIOTO. Filipe graduated as a Real Estate Business Technician in 2013 and as a Civil Engineer in 2014 at Pontifical Catholic University of Parana (PUCPR). Currently he is a master's student at Industrial and Systems Engineering Graduate Program (PPGEPS) and participant in the BIM research group at the Pontifical Catholic University of Parana (PUCPR). Currently he works as an Engineer in Citta Construções e Empreendimentos in the south of Brazil. He develops research in the area of BIM and Sustainability.

Natan Henrique Mannrich HUBER. Graduated as a computer technician graduated at Opet Educational Group (OPET) and civil engineer at Pontifical Catholic University of Parana (PUCPR) in 2014. Currently he is a Master student in the Industrial and Systems Engineering Graduate Program (PPGEPS) and a participant at the BIM research group at Pontifical Catholic University of Parana (PUCPR). He is also and an Engineer at Oriente Construções in the south of Brazil. He develops research in the area of BIM and Sustainability.

Eduardo Rocha LOURES. Is a Full Professor (Systems Integration, Evaluation and Automation) at the Industrial and Systems Engineering Graduate Program at the Pontifical Catholic University of Parana (PUCPR), and an associate professor at the Federal University of Technology – Parana (UTFPR), both in Brazil. He is from 2010 the Education Chair of the International Society of Automation (ISA, District South America, Section Curitiba, Brazil). On 2012, he spent one year as a Visiting Academic at the Research Center for Automatic Control (CRAN), University of Lorraine, France. He holds a BSc Degree in Industrial Electrical Engineering (UTFPR- Brazil), a MSc Degree in Applied Computer – Automation (PUCPR – Brazil) and a PhD in Industrial Systems (LAAS/CNRS – France). His research and teaching is in business process management, process aware information systems, performance management system, systems integration and interoperability.

Osiris CANGIGLIERI Junior. Is a Full Professor at the Pontifical Catholic University of Parana (PUCPR). He has experience in Product Development and Industrial Engineering with emphasis on Production. Professor Canciglieri research's main areas of interest are: Computational tools to support engineering decision making, Manufacturing Processes, Planning and Production Control, QFD, CAD/CAM, DFM, DFA, DFX, Design for Dental Implant, Prosthesis Design, Product Development in a Concurrent Engineering Environment and others. He graduated in Industrial Mechanic Engineering at School of Industrial Engineering of São José dos Campos- SP - Brazil (1991); Master of Science degree in Mechanical Engineering at State University of Campinas (DEF/FEM/UNICAMP) – SP - Brazil (1994) and PhD. in Manufacturing Automation at Loughborough University – Loughborough – UK (1999). Invited professor at Loughborough University in 2008.

APÊNDICE L ARTIGO “A SYSTEMATIC LITERATURE REVIEW OF INTEROPERABILITY IN THE GREEN BUILDING INFORMATION MODELING LIFECYCLE”

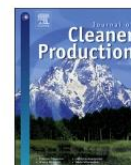
Journal of Cleaner Production 223 (2019) 397–412



Contents lists available at ScienceDirect

Journal of Cleaner Production

journal homepage: www.elsevier.com/locate/jclepro



A systematic literature review of interoperability in the green Building Information Modeling lifecycle



Marina Figueiredo Muller*, Filipe Esmanioto, Natan Huber, Eduardo Rocha Loures, Osiris Canciglieri Junior

Industrial and Systems Engineering Graduate Program (PPGEPIS), Pontifical Catholic University of Parana (PUCPR), Rua Imaculada Conceição, 1155, Curitiba, Paraná, Brazil

ARTICLE INFO

Article history:
Received 29 May 2018
Received in revised form
20 February 2019
Accepted 11 March 2019
Available online 12 March 2019

Keywords:
Sustainability
Building Information Modeling
Interoperability
Multicriteria decision method
Systematic literature review

ABSTRACT

The growing role of sustainability in the construction industry must be considered in the entire lifecycle of a building. This way BIM (Building Information Modeling) figures as an important factor in the management of this lifecycle, from design and construction, through the operation and maintenance until the demolition. An efficient interoperability along the lifecycle supported by BIM allows an overall better management and help users to improve sustainability of projects. This interoperability must consider not only data, but also should be concerned with broader aspects, such as processes and guidelines, avoiding information loss, facilitating analysis, and therefore, improving sustainability. In the light of this scenario, a systematic literature review was performed considering sustainability factors, interoperability concerns and lifecycle stages. This review was based on existing methods complemented by a multicriteria decision analysis method to aid the selection of relevant papers. Also, a qualitative data analysis was performed to identify the relations of the fields studied. Results showed that even though some fields receive much attention in the literature, few studies are performed considering interoperability in the entire lifecycle of sustainable buildings. Also, results showed the relevant connections among lifecycle stages and sustainability fields, providing an influence matrix of these two areas. This review can be used as a tool to organize knowledge and data and systematize processes and even to structure interoperability frameworks.

© 2019 Elsevier Ltd. All rights reserved.

1. Introduction

Sustainability has a growing role in the construction industry, and its importance must be considered not only in the design stage but also over the entire lifecycle of a building. Building Information Modeling (BIM) allows the management of the lifecycle (from design to demolition), however, to date most researched has focused mainly on the design stage. Although all stages of the lifecycle should be considered to improve the process, maintenance and demolition stages tend to receive less attention (Wong and Zhou, 2015). In order to provide the construction industry with paths to improve sustainability throughout the lifecycle, green certifications can be implemented. One of the main certifications is

LEED, developed by the US Green Building Council (USGBC, 2017) in 1998, which was chosen to structure this research. Other certifications, such as Building Research Establishment Environmental Assessment Method (BREEAM), Comprehensive Assessment System for Built Environment Efficiency (CASBEE) and Green Star are also relevant in the AEC industry (Architecture, Engineering and Construction Industry) (Costa et al., 2018; Ma and Cheng, 2017). LEED was chosen as a structuring element in this review due to its global penetration, criteria homogeneity and lifecycle consideration (Suzer, 2015; Doan et al., 2017). Also, when considering interoperability aspects, LEED also shows prevalence due to its clarity, openness and versatility (Nguyena and Altan, 2011). Table 1 provides a comparison between green certifications in the AEC industry.

BIM allows users to add properties related to sustainability to objects, and then it creates the possibility to develop an analysis of many aspects connected to sustainability, such as carbon emissions, water efficiency, lighting, etc. However, for these analyses to work

* Corresponding author.

E-mail addresses: marina.fmuller@pucpr.br (M.F. Muller), filipe@averbe.com.br (F. Esmanioto), natan@averbe.com.br (N. Huber), eduardo.loures@pucpr.br (E.R. Loures), osiris.canciglieri@pucpr.br (O. Canciglieri).

Table 1

Comparison between green certifications in the AEC industry.

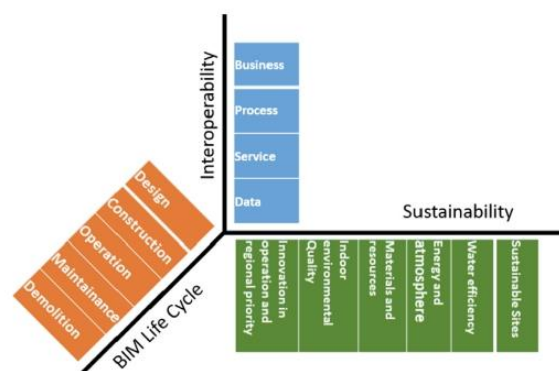
Criteria	BREEAM	LEED	CASBEE	Green Star NZ
Clarity (Well-defined, easily communicated, and clearly understood among multiple parties.) - Nguyena and Altan (2011)	Meets criterion	Meets criterion	Meets criterion with exception	Meets criterion with exception
Credit weights - Suzer (2015)	May differ according to region	Constant for every location	May differ according to region	May differ according to region
Development approach (system was developed using a consensus-based, life cycle analysis or expert opinion) - Nguyena and Altan (2011)	Does not meet the criterion	Meets criterion	Meets criterion	Does not meet the criterion
Lifecycle assessment - Doan et al., (2017)	Design, Built, Operation and Refurbishment	Design, Built, Operation and Refurbishment	Design, Built, Operation and Refurbishment	Design, Built and Refurbishment
Market Penetration - Doan et al., (2017)	Popular use in the European Union	Global adoption	Mainly in Japan	Mainly in NZ
System openness - Nguyena and Altan (2011)	Meets criterion with exception	Meets criterion with exception	Does not meet the criterion	Does not meet the criterion
Versatility (Number of systems that use it as its basis for development or comparison) - Nguyena and Altan (2011)	12	10	1	0

properly, a certain level of interoperability maturity is required. [Pingaud \(2009\)](#) defines interoperability as the ability of systems, natively unknown among each other, to interact in order to establish harmonious and collective behaviors, without modifying their individual structures or behaviors in depth. An improved interoperability in the BIM cycle can enhance the maturity of sustainability in the construction industry. The connection between interoperability and sustainability is described as inseparable and inherently linked by [Dassiti et al. \(2013\)](#): “In a global networked environment deeply affected by financial crises, climate change and pandemics, the necessary economic, environmental and social/ethical sustainability cannot be achieved without sustainable interoperability”. Interoperability can also be understood on many organizational levels, such as data, service, process and business, as described by [Chen \(2008\)](#), used to structure interoperability issues in this review.

There has been limited academic literature so far discussing the definition of green BIM, however, it can be understood as the use of BIM tools to improve sustainability and building performance ([Wong and Zhou, 2015](#); [Wu and Issa, 2014](#)). The need for a systematic literature review for the Green BIM cycle arises from the perception that it can be beneficial to study this topic in this tri-axial manner. First, to use BIM throughout the lifecycle, interoperability needs to be further developed. Also, considering that sustainability can be improved by the use of BIM, and that interoperability and sustainability are inherently linked, a literature review connecting all three fields is presented to better understand the relevance of the connections between these fields, hereby demonstrated by three axis. The first axis represents sustainability and contemplates the six subcategories of LEED version three: sustainable sites, water efficiency, energy and atmosphere, materials and resources, indoor environmental quality and innovation in operation and regional priority. This study considered papers from 2006 until mid-2018, presenting a twelve-year panorama on sustainability and BIM.

The second axis shows the lifecycle stages of a building: planning and design, construction, repair and maintenance, operation and demolition ([Wong and Zhou, 2015](#)). Finally, the third axis relates to interoperability concerns and maturity, comprising data, service, business and process. These perspectives can be seen in [Fig. 1](#). This multidisciplinary of the study requires a systematic literature review, to present results in a comprehensive and structured manner.

In the first part of this paper, an introduction is presented. Section two describes the methodology adopted for a systematic literature review, describing the search and selection of the final pool of papers. Considering the difficulty involved in selecting

**Fig. 1.** Tri-axial view of the field studied.

relevant papers for a review enveloping three fields, a multicriteria methodology was adopted. Section three presents a quantitative and qualitative analysis of the selected papers, classifying them according to described fields. Then, a review containing the most relevant issues in each subtopic is presented in section four. Finally, section five presents conclusions from the research and suggestions for future works and possibilities of use of this review, such as a basis for knowledge structuring and process detailing.

2. Methodology

According to [Kitchenham and Charters \(2007\)](#), a systematic literature review is a methodology used to identify, evaluate and interpret research relevant to a determined topic area, research question or phenomenon of interest. Further, there are three main reasons for performing a literature review: To summarize the existing evidence in a topic, to identify gaps in the state of the art to propose areas for further investigation and to provide a framework to appropriately position new research activities. These three reasons apply to the study of BIM interoperability and sustainability, however, mainly the last one relates specifically to this study. This study can provide information for the development of models, directions and frames for BIM interoperable sustainability. The combination of the Ordination method ([Pagani et al., 2015](#)) and TOPSIS multicriteria decision method ([Hwang and Yoon, 1981](#)). Ordination was chosen to provide the comprehensive search and robustness of papers (with high numbers of citations and from journals with high impact factors) allied with a multicriteria

decision method, in the case TOPSIS (Hwang and Yoon, 1981), to provide a robust and effective selection of papers, ensuring that papers were aligned with the topic at hand. This combination of methods allowed for the selection of papers not only relevant to the research, but most importantly, papers with relevant academic influence.

The method is shown in Fig. 2 and was developed in three steps: (i) preliminary search, (ii) database searches, (iii) selection of papers. In the preliminary search, papers containing the terms BIM, intero* (including interoperability, interoperable, etc.) and sustainability were searched for and their keywords analyzed and structured into three clusters (interoperability, sustainability and BIM). In the second stage (database search), three portals were searched for papers containing at least one word in each cluster, therefore the selected papers would relate to the three areas studied. In the third stage (selection of papers), papers were classified according to year, journal impact factor (IF), number of citations, adherence factor (AF) and standard deviation of AF. Finally, the TOPSIS method was applied and the papers with the highest scores were selected. The sections that follow describe this process in detail.

2.1. Preliminary search - strings and keywords selection

First, a preliminary search in the Science direct portal was executed. In this search, journals containing the words “BIM and Sustainability” and “BIM and Interoperability” in the title, abstract and keywords were selected. The keywords of these journals were ranked from most frequent to least frequent and then separated into three clusters (BIM, Interoperability and Sustainability), as shown in Table 2.

2.2. Database searches and selection of papers

Based on the selected keywords from the first step, searches were executed in three databases: Scopus, Engineering Village

and Proquest. The first search criteria used was that at least one word of every cluster should be present in the abstract, title or keywords of the journal. Also, only papers in English and from journals were searched. Finally, a ten-year gap was established (papers ranging from 2006 to 2018 were selected).

The search returned the following results:

- Scopus - 262 document results – 97 available;
- Engineering Village - 214 document results – 155 available;
- Proquest – 35 document results – 20 available.

From the total of 511 papers, 272 had the full version available. After duplicated papers were excluded from the total of papers with the full version available, a pool resulting in 230 papers were selected.

To exclude from the pool papers either irrelevant to the subject or papers without scientific recognition, a multicriteria method was applied. However, before this decision, the first method considered for the selection was the Ordination method, described by Pagani et al. (2015), that considers the relevance of the Impact factor of the Journal the paper was published, the number of citations and the importance of recent papers that have not yet received many citations. This method consists of adding the impact factor of a journal, the number of citations it has received, to a factor that considers the relevance of how recent a paper is, as described in Equation (1).

$$\text{InOrdinatio} = (\text{IF}/1000) + \alpha * [10 - (\text{ResearchYear} - \text{PublishYear})] + \text{Citations} \quad (1)$$

However, the Ordination method was not enough, since many papers that seemed relevant to the research were left out in a preliminary analysis. Also, papers with many citations or a high impact factor, but disconnected from the topic, were included. To aid in this scenario, an adherence factor was created. Three researchers involved in the BIM interoperability studies were asked

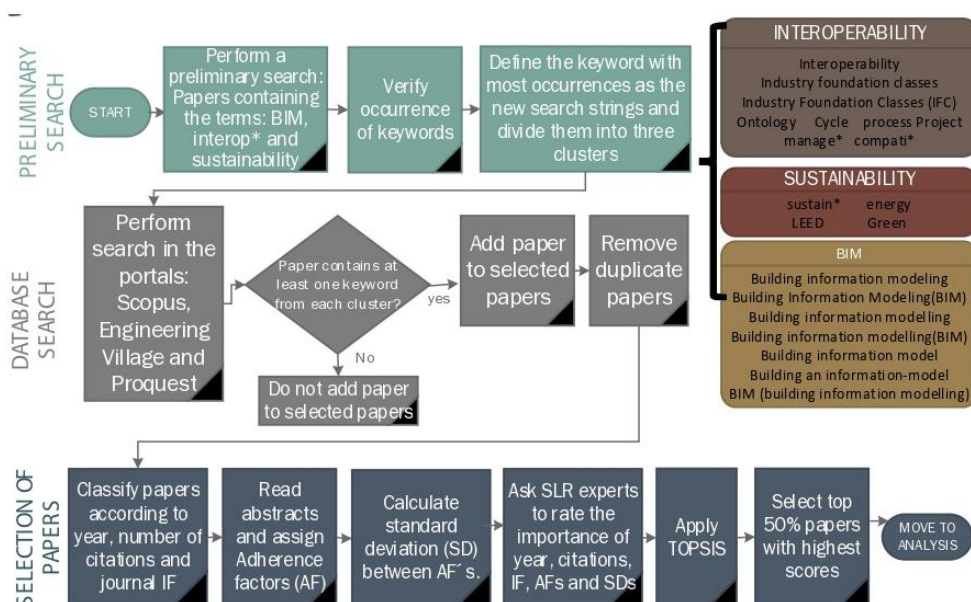


Fig. 2. Process of the SLR sequence.

Table 2
Selected keywords.

Sustainability		Interoperability		BIM	
Word	No of occurrences	Word	No of occurrences	Word	No of occurrences
sustain*	12	Interoperability	22	BIM	21
energy	15	Industry foundation classes	6	Building information modeling	13
LEED	2	Industry Foundation Classes (IFC)	4	Building Information Modeling (BIM)	9
Green	5	Ontology	3	Building information modeling	8
		Cycle	2	Building information modeling (BIM)	2
		process	4	Building information model	2
		project	4	Building an information-model	2
		manage*	9	BIM (building information modeling)	2

Table 3

Weights provided by specialists.
iii. Normalize the matrix according to Equation:

$$R_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n x_{ij}^2}} \quad (2)$$

Year	Impact factor	Number of Citations	Adherence Factor	Standard Deviation
0.157	0.241	0.229	0.265	0.265

to attribute a score to the journals based on their title and abstract.

The scores were as follow:

- 0 – Not related to the topic;
- 2 – Only slightly related to the topic;
- 4 – Somewhat or partially related to the topic;
- 6 – Related to the topic
- 8 – Very Related to the topic
- 10 – Extremely related to the topic.

After the scores were given, the standard deviation from the scores applied by the researchers was calculated, since a high standard deviation shows uncertainty about the results. Also, the Impact Factor (IF) considered for this research was the 5-year IF. If the 5-year IF was not available, journals were classified using the IF for the most recent year.

Thus, to unify the five criteria in the selection process, a multicriteria methodology named TOPSIS was applied. TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) was developed (Hwang and Yoon, 1981) as a multicriteria decision method based on the concept that the best alternative is the closest to the ideal alternative and further away from the negative ideal. The seven main steps for the application of TOPSIS (Srikrishna, 2014) are as follows:

- i. Define the goal, in this case, the selection of the most relevant articles from the literature;
- ii. Define the important criteria for the selection of the alternatives and calculate a decision matrix. The five criteria used (year, number of citations, impact factor, adherence factor and standard deviation) were submitted to three experts in systematic literature review, and they were asked to rate the importance of the five factors, and the averages of the weights given by them are presented as follows in Table 3.

Where x_{ij} corresponds to each element in the decision matrix and n corresponds to each column in the matrix;

- iv. Multiply each element in the normalized decision matrix by the weight corresponding to that column;

- v. Select from each column the best ($v_j +$) and worst ($v_j -$) values according to each criterion (ideal positive and ideal negative solutions). After that, calculate the distance between each element in the matrix e its corresponding ideal positive and negative solution according to Equation (3).

$$S_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^m (v_j^+ - v_{ij})^2} \quad (3)$$

Where S_i^+ and S_i^- correspond to the distances of the alternatives to the ideal positive e negative, i corresponds to each criteria, m corresponds to each line in of the matrix, v_{ij} corresponds to each element of the matrix referring to an alternative e v_j^+ e v_j^- correspond to the values of ideal positive and negative;

- vi. Calculate the relative proximity C_i of each alternative to the ideal solution through Equation (4):

$$C_i = \frac{S_i^-}{(S_i^+ + S_i^-)} \quad 0 \leq C_i \leq 1. \quad (4)$$

Rank the alternatives by their relative proximity C_i . The papers were ranked according to the highest score, and the ones with the top 50% score were selected for analysis, making up a pool of 115 selected papers. The whole process can be seen in Fig. 3, and the scores are presented in Table 4.

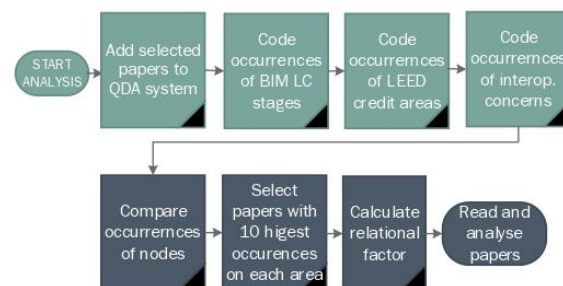
**Fig. 3.** – Process of the analysis of papers.

Table 4
Journals by sub-areas.

Papers	Score	Sustainability					Innovation in operation and regional priority	Interoperability		BIM lifecycle				
		Sustainable Sites	Water efficiency	Energy and atmosphere	Materials and resources	Indoor Environmental quality		Business	Process	Service	Data	Design	Construction	Operation Maintenance Demolition
Akbamezhad A. et al. (2014)	0.466									1		10		1
Al-Ghamdi, S. G.; Bilec, M.M. (2015)	0.466 9		2				9							
Al-Ghamdi, S.G., and Bilec, M.M. (2017)	0.484													
Alwan, Z. et al. (2015)	0.470		6			10	2							
Alwan, Z. et al. (2017).	0.478													
Andriamamonjy, A. et al. (2018).	0.479							10						
Araszkiewicz, K. (2016)	0.465													
Arayici, Y. et al. (2011)	0.468							7						
Arayici, Y. et al. (2018).	0.465							8						
Azhar, S. et al. (2011)	0.470		5			11	6							
Azzi, M. et al. (2015)	0.470													
Behzadi A.(2016)	0.469													
Bu, S. et al. (2015)	0.47			1					4	7		10		9
Chardon, S. et al. (2016)	0.467											12		
Chi, H.L. et al. (2015)	0.468 7											2	1	
Cho, Y.K.; Gai, M. (2013)	0.461													
Chong, H.-Y.,and Wang, X. (2016)	0.464												6	5
Costa A. et al. (2013)	0.468												2	
Costin, A. et al. (2018).	0.465									4		6	5	2
Crosbie, T. et al. (2010)	0.471			3										
Curry, E. et al. (2013)	0.467							4		3	1		11	11
Diaz-Vilarino, L. et al. (2013)	0.468						3							
Ding, L. et al. (2014)	0.865 11											1		
Dong, B. et al. (2014)	0.470		10								5		10	
El-Diraby, T. et al. (2017).	0.484							3		10				
Eleftheriadis, S. et al. (2017).	0.456													9
Farghaly, K. et al. (2018).	0.465													5
Gan, V.J.L. et al. (2018).	0.465													
GhaffarianHoseini, A. et al. (2017).	0.464													
Gimenez, L. et al. (2016)	0.465					2								
Goçer, O. et al. (2015)	0.468					9		12	3	6			12	
Gökçe, H. U., Gökçe, K.U. (2014) a	0.466		9							4	3		7	8
Gökçe, H.U.; Gökçe, K.U. (2014) b	0.466													
Gordon, V.R.; Holness P.E.	0.46													
Gourlis, G., and Kovacic, I. (2017).	0.475													
Gulliver, S. et al. (2013)	0.468							9						

(continued on next page)

Table 4 (continued)

Papers	Score	Sustainability					Innovation in operation and regional priority	Interoperability		BIM lifecycle				
		Sustainable Sites	Water efficiency	Energy and atmosphere	Materials and resources	Indoor Environmental quality		Business Process	Service Data	Design	Construction	Operation	Maintenance	Demolition
Guzman Garcia, E.; Zhu, Z. (2015)	0.468				11									
Habibi, S. (2017)	0.464					5								
Ham, Y. et al. (2015)	0.468													
Han, R. et al. (2016)	0.469						4							
Harmathy, N. et al. (2016)	0.469			2		7								
He Jie, B. et al. (2014)	0.469			11		12	5			7				
Hiyama, K. et al. (2010)	0.469									2				
Hjelseth, E. (2010)	0.470													
Hong, J. et al. (2017)	0.464							5						
Iddon, C.R.; Firth S.K. (2013)	0.464	8			7						11			
Ilhan, B.; Yaman, H. (2016)	0.469				4									
Jalaei, F.; Jrade A. (2014)	0.467			5	3		11			6				
Jang, S., and Lee, G. (2018)	0.484	12						6						
Janssens H. (2013)	0.467		11											
Jeong, S.K.; Ban Y.U. (2011)	0.469													
Jeong, W. et al. (2014)	0.469				1			7		6				
Jiao, Y. et al. (2013)	0.468							2	5	2	12		8	
Jrade, A.; Jalaei, F. (2013)	0.466				6		7				11			
Jung, N. et al. (2018)	0.465					3				9	8			
Kim, J. et al. (2015)	0.469		12											
Kim, J.I. et al. (2015)	0.471		3											
Kim, J.I. et al. (2016)	0.464							11				4		
Kim, M. et al. (2014)	0.468								2					
Kim, Y.-C. et al. (2017)	0.464													
Klein, L. et al. (2012)	0.471	8												3
Kuo, H.J. et al. (2016)	0.478													
Ladenhauf, D. et al. (2016)	0.483													
Larsen, K. E. et al. (2011)	0.463	10												
Liu, S. et al. (2015)	0.466									4		9		11
Lu, W. et al. (2017)	0.464										9			7
Ma Z. and Zhao Y. (2008)	0.461								8	12				
Ma, Z.; Cheng, Y. (2017)	0.468													
Mah, D. et al. (2011)	0.473	6			8			12			3			
Marzouk, M. et al. (2018)	0.465													
Marzouk, M.; Abdelaty, A. (2014)	0.461					4								
McGlinn, K. et al. (2017)	0.478													
Merschbrock, C. et al. (2016)	0.442	4												
Merschbrock, C. et al. (2018)	0.443													
	0.478													

403

3. Analysis

In order to better analyze the selected papers, three main areas, comprised of subcategories, were identified. Hence, papers could be categorized according to which topics they discussed in depth.

Firstly, the sustainability areas were identified in each of the papers. Even though other certifications such as BREEAM (UK) and Green Star (Australia) have great importance, the LEED credit categories were chosen due to its relevance in the environmental certification and worldwide use in Architecture Engineering and Construction. Also, LEED was chosen as a guideline for the categories because it was the only certification that appeared in the keywords from the preliminary search. The sub-categories are sustainable sites, water efficiency, energy and atmosphere, materials and resources, indoor environmental quality and innovation in operation and regional priority.

Next, papers were classified according to which parts of the Building lifecycle they involved. These categories include building planning and design, construction, repair and maintenance, operation and demolition (Wong and Zhou, 2015).

For the interoperability section, Chen's et al. (2008) framework for enterprise interoperability was selected, since its parameters suit BIM research adequately to analyze BIM's barriers and parameters. Moreover, the framework has already been used effectively in past BIM research concerning interoperability studies and schemas based on the framework (Muller et al., 2017). The framework presents three dimensions: The first are the interoperability barriers, divided into conceptual, technological and organizational. The second are the Interoperability approaches (Integrated, unified and federated). Finally, the author establishes four main interoperability concerns:

- Business: interoperability in the strategic and organizational levels.
- Process: describes requirements necessary to align the processes for construction, design, and operation.
- Service: service interoperability is the concern of a company to register, aggregate and consume services of external sources.
- Data: this concern refers to the need for different, platforms, software and systems to work together and use common languages.

The interoperability concerns were chosen as the third axis of the research, so concerns could be collected and categorized. This way, interoperability issues in sustainability can be identified.

Therefore, considering these three categories and fifteen sub-categories, the selected journals were analyzed with the aid of a Qualitative Data Analysis (QDA) software. Nodes were added when one of the subcategories appeared. A node is a mark created by the system, in order to aid the analysis and quantification. The analysis process is described in Fig. 3.

In each of the sub-categories, the top 10 papers with the most nodes were selected to describe that area and results can be seen in Table 4. A paper with the number 1 in one topic indicates that it had the most nodes on that topic, number 2 is the second and so on. Also, the field "score" indicates the score the paper received in the multicriteria decision method, therefore being selected to the main pool. A detailed review of each sub-category is presented in the next section.

From the analysis in the QDA software, shown in Fig. 4, Interoperability was revealed to be the topic least discussed, while sustainability and lifecycle have approximately the same number of nodes. Within the topic of interoperability, data and process are discussed more often. Business interoperability, however, is not so frequently discussed. It can thus be inferred that while most

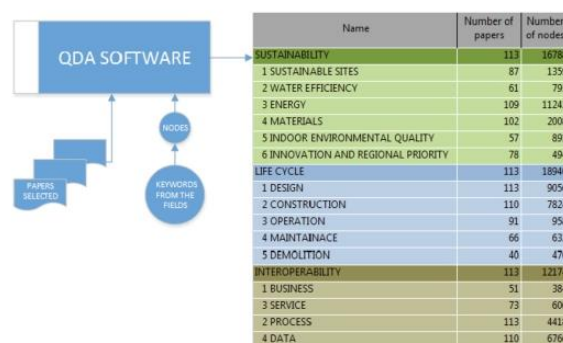


Fig. 4. Number of nodes on the Journals analyzed.

authors are concerned with base levels of interoperability, business interoperability is not seen as a priority at the strategic level. The lifecycle literature tends to focus on the earliest stages, such as design and construction. Topics at the end of the lifecycle, such as maintenance and demolition receive much less attention (demolition being the least discussed topic of all). Within sustainability, energy was the topic most discussed, presenting more nodes than any other subtopic. Indoor environmental quality and water efficiency had fewer mentions.

Also of note, most papers involved in the search were published from 2015 to 2016. A growth in publications from 2009 to 2015 seems like an important factor in BIM research for interoperability in sustainability. After that period, research in the field seems to have stabilized, noting that the search was performed before the end of 2018, and these values will likely increase before the end of the year (Fig. 5).

In 2006, not a single paper on the topic appeared in the searches. This corroborates the decision of searching within the twelve year span identified, since if the search had extended beyond that period very few or even no papers would likely have been found - as can be seen from the curve in the graph from Fig. 5.

4. Review and discussion of selected papers

This section presents the contents of the papers searched structured in three main areas: Sustainability, lifecycle and interoperability. Sub-categories discuss the main concern and some of its relations to the other fields. Further discussion is presented in chapter 5: Integrated analysis and future research.

4.1. Sustainability and LEED

LEED is a standard developed by the U.S. Green Building Council (USGBC, 2017) for building sustainable constructions that have better performances in the areas of sustainable sites, water conservation, energy efficiency, materials use, indoor air environmental quality and innovation. These credits may vary according to the type of construction. In this case, LEED for new constructions version three is being considered to structure this section of the review. Each subsection presents a discussion on sustainability especially related to BIM and interoperability.

4.1.1. Innovation in operation and regional priority

Credits in LEED related to region and innovation can be improved when Green BIM technologies are applied, especially when using state-of-the-art IT tools (Araszkiewicz, 2016). BIM also can influence and improve creative thinking and innovative

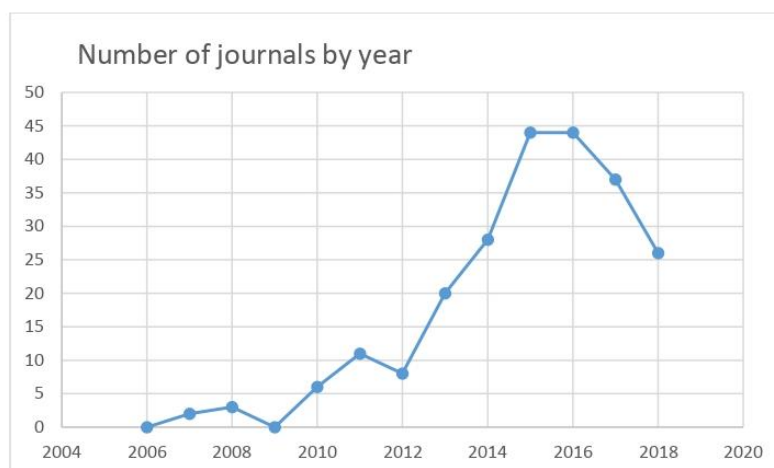


Fig. 5. Number of papers published by year.

strategies in green buildings (Wu and Issa, 2014).

Considerations of regional characteristics can be conducive to achieving sustainable performance. Cold regions, industrial or rural areas, for example, all have special characteristics and needs (Han et al., 2016). Regional impacts are also relevant when considering vegetation. BIM can be used to conduct simulations for sun-shading design or retrofitting for outdoor space. This can be done according to regional function, spatial properties, space requirements, and characteristics of group activities (He et al., 2014).

Another important factor vis-à-vis regional aspects in LEED is the fact that energy costs in the different locations may vary significantly based on many local and regional variables. Also, diverse types of energy supply and plant efficiencies should be considered (Al-Ghamdi and Bilec, 2015). These factors, along with maturity levels, regulatory and environmental requirements must be taken into consideration for more sustainable power distributions (Azzi et al., 2015).

4.1.2. Sustainable sites

Points awarded in LEED for sustainable sites may vary from building function, for example, higher education facilities tend to score higher on site selection (Wu et al., 2016).

It is also important to consider that sites where most of the energy comes from sources other than fossil fuels show good results in terms of low environmental impact on climate change. The authors even suggest that buildings with higher environmental impacts due to fossil fuel-based energy sources should be required to achieve higher levels of energy generation and efficiency than others (Al-Ghamdi and Bilec, 2015).

An efficient selection of the construction site also influences the building's embodied energy, since sites further away from manufacturers tend to spend more energy on material transportation. These characteristics may be acquired through BIM automated processes, considering locations and material take-offs (Shadram et al., 2016). Not only the location of the site and its distance from suppliers, but even climate condition may interfere, since cold regions demand more energy for curing concrete, for example (Mah et al., 2011). Also, it is important to consider on-site BIM for interoperability improvement, resulting in improvement in Information quality, the centralization of information repositories and greater speed of information flow (Merschbrock and Nordahl-Rolfen,

2016).

Building modeling can be used to analyze, simulate and optimize site planning, especially if paired with sensors and other automation systems, minimizing loss and delays (Zhou et al., 2015), (Chi et al., 2015). Also, information about consumed materials can be retrieved from the construction site as it is used (Ding et al., 2014). Authors even consider that the use of BIM can aid construction sites in workforce safety (Zhang et al., 2015).

BIM can combine many different software and sensors to in simulations to determine PAR (photosynthetically active radiation) in urban areas. These analyses can also help to improve urban green space design and selection of plants for better performance (Tan and Ismail, 2015).

4.1.3. Indoor environmental quality

LEED points connected to indoor environmental quality are usually very relevant in projects well qualified, since it corresponds to 15 of the points awarded (Wu et al., 2016), especially when considering analysis for LEED credits, BIM can aid indoor environment quality. Ventilation, indoor thermal characteristics, acoustics and daylighting can be predicted by various methods or even combinations of computational methods (Wang et al., 2016). Also, monitoring through BIM can aid to better control the Heating, ventilation, and air conditioning system - HVAC, which can ensure the efficient consumption of energy (Marzouk and Abdelaty, 2014).

Computer analysis also may aid in the analysis of building thermal properties and of adequate windows. Thermal comfort can be improved significantly with adequate glazing type. The economic aspect is also important when improving the thermal properties of the building envelope, since construction expenses and materials are taken into consideration according to their performance and investment aspect (Harmathy et al., 2016).

Natural ventilation can provide fresh air and improve indoor comfort having zero energy consumption. To achieve this, specific building orientation should be determined by modeling. For example: In the northern hemisphere, houses favor the south-facing direction, which not only maximizes the sunlight in winter but also provides conditions for good heating in the summer. Nevertheless, cold winds that may cause heat loss should be considered. These simulations can be aided or performed by BIM systems (He et al., 2014).

Göçer et al. (2015) also emphasize the importance of post-occupancy evaluation to consider indoor air quality, daylight quality, thermal comfort, visual comfort and sound control. This is important so the occupants' comfort may also be analyzed qualitatively. Enhancement of indoor environmental quality should also be considered in green retrofit design (Bu et al., 2015). Some suggested measures for reducing the building's CO₂ emissions are reducing (within the limits of comfort) the fresh air volume, extending the range of indoor temperature, improving insulation performance of walls, windows and roofs and using natural ventilation (Peng, 2016).

4.1.4. Water efficiency

It is possible to estimate the amount of water that can be recovered by a building at each location, through weather data. This recoverable amount includes greywater reclamation for outdoor usage and rainwater harvesting on the building (Al-Ghamdi and Bilec, 2015). Also, at the operation stage sensors can be developed to detect and measure parameters such as water/gas/electricity meter readings (Gökçe and Gökçe, 2014a; Dong et al., 2014).

Water analysis can be quickly executed by using BIM during design and even pre-design stages. This creates the possibility to make early changes and improve results in this area (Azhar et al., 2011).

Research has also found that building functions may interfere with water usage, for example, manufacturing buildings tend to use more water than commercial buildings (Kim et al., 2015). Another relevant issue with water usage is the fact that heating water influences significantly in energy consumption, so by limiting the water used, energy consumption can be limited as well (Iddon and Firth, 2013). This can even be reduced by solar water heating systems on roofs and facades (Gökçe and Gökçe, 2014b). Another way to reduce water usage is passive cooling, which reduces makeup water to the cooling tower (Janssens, 2013).

4.1.5. Energy and atmosphere

The construction industry uses great amounts of primary energy, which leads to global warming and a generation of greenhouse gases (Bu et al., 2015). These emissions are directly linked to the energy that the building consumes to maintain its use, such as the lights and energy of the appliances, and for thermal comfort such as heating or air conditioning systems (Schlueter and Thesseling, 2009). Therefore, efficient energy consumption in the lifecycle of buildings is at the heart of urban sustainability development (Crosbie et al., 2010).

Important decisions about sustainability are made at the conceptual stage of the construction lifecycle (Jalaei and Jade, 2014). For example: the choice of appropriate natural ventilation that can help to reduce the use of energy for thermal comfort, the heat insulation and sunshade should be observed in the early design stages (Jie He et al., 2014). It is possible to carry out energy consumption analysis using software that uses BIM. Currently, BIM tools have the option of providing users with the opportunity to model and explore construction alternatives that can save energy, avoiding having to remodel all the geometry to explore different possibilities (Crosbie et al., 2010).

Concerning interoperability for energy simulation through BIM, a real-time connection between authoring tools and energy analysis systems must be established. This suggests that modifications on the model could affect the simulation without having to export/import files between systems. To accomplish this, a steady flow of information would have to happen between programs using a data scheme or suitable energy analysis plugins must be developed within authoring tools (Sanhudo et al., 2018).

4.1.6. Materials and resources

To obtain success in a project, an understanding of the functional criteria of building materials is fundamental. Throughout the lifecycle, building materials consume energy. In this scenario, the use of BIM tools can help in the decision-making stages, which have a high impact in cost in all energy-related phases of the project (Jalaei and Jade, 2014). By using Building Information Modeling to Building Energy Modeling - BIM2BEM, it is possible to take advantage of data such as materials, parametric objects, and building geometry to generate energy simulations (Jeong et al., 2014).

It is also possible to incorporate sustainable components into the conceptual stage of the project, identifying associated materials and components based on the green building certification systems (Jade and Jalaei, 2013). In addition, the use of BIM and integration with a database allows the calculation of CO₂ emissions in different types of construction methodology (Mah et al., 2010).

There is a research gap regarding the greenhouse gas in the lifecycle of building materials (Wu et al., 2014). Construction materials can be improved with respect to embodied carbon. It was observed that the use of special concrete mixtures, the exchange of PVC frames for wood in window frames and changes in the external coating of bricks can reduce by 24% the embodied carbon in a building, which represents a 5% reduction in a 60-year lifecycle (Iddon and Firth, 2013). The reuse of materials significantly reduces carbon emissions as well as cost and energy from demolition and transportation to landfills and recycling sites. With the use of BIM software, it is possible to add recycling information to the materials, determining if such materials are suitable for recycling. Suitability of materials can be determined through pre-defined data libraries (Akbarnezhad et al., 2014). Another alternative is the use of nanotechnology using carbon, since materials that consist of carbon not only emit less pollution in the production and transport as other types of materials, but they present better performance and resistance with less weight (Rebolj et al., 2010).

4.2. Lifecycle

A building's lifecycle tends to be more complex than any other product, since it takes many years to reach the point where it is demolished and subsequently recycled. This extended lifecycle presents then special needs and documentation, and all stages can be accompanied through BIM to ensure more sustainability in the process (Wong and Zhou, 2015). This section presents the construction industry main issues according to each phase of the lifecycle, especially considering BIM interoperability and sustainability.

4.2.1. Design

In the early design stages, most tools are unsatisfactory to provide performance simulations while being flexible for a rapid design process. To improve this process, integrated dynamic models should combine a design tool, a performance simulation tool and a visual programming language to provide better support for the designer during the early stages of design. There are three methods to integrate design tools and Building performance simulation in the early design stages: combined models (limited to the functionalities of the modeling environment), central model (exchange information by defining a common exchange format) and distributed model (disengaged from a top-down control and one directional model operation by using a middleware system to modify, filter and extend operator definitions) (Negendah, 2015). Early design phases may also be aided from datasets based on users' past experiences, objectives, constraints, projects and design philosophies to generate default configuration settings to be used in

new projects (Hiyama et al., 2014).

Process mapping is essential to adjust the design process, especially when trying to achieve sustainable design, not only describing the tasks and actors, but also determining the Level of detail – LOD in the stages. A good process management, communication of involved actors and consistent reviews are also essential factors for successful design strategies (Zanni et al., 2014).

Many variables such as operation cost, construction cost, carbon emission, and comfort are relevant in a green construction. This set of variables can be used to determine an optimal solution, based on Pareto or other multi-criteria decision methods (Liu et al., 2015).

For optimal system interoperability for BIM analysis in the design stage, some specifications should be met. Firstly, systems should allow data mapping and reading from internal formats to external formats, (such as IFC, Extensible Markup Language – XML, spreadsheet, etc.). Next, platforms must include capabilities to apply object attributes and to allow mapping functions to be linked to numerical and textual data. Also, It must support geometry modification. The platform should also allow these capabilities to access and include data from different sources (material property libraries, longitude-latitude tables, etc.). Finally, a platform should be capable to read back results from analysis from other applications and display design information and suggestions. Another important fact is that depending on the level of model development, information required in the analysis can be defaulted to normative values. If the information exists, it can substitute the defaults (Sanguinetti et al., 2012).

It is possible to evaluate a BIM model sustainability by calculating the LEED points that can potentially be gained during the conceptual design stage. This process is implemented in four steps (Jalaei and Jrade, 2013):

- i. Developing the 3D sustainable design by using green families and their related keynotes stored in the external database.
- ii. Energy analysis and lighting simulation - the 3D geometric model must be converted to an analytical model, then the energy analysis can be executed.
- iii. Analysis of energy embodied in building components.
- iv. Calculation of the potential LEED points.

An optimization cycle can also aid in sustainable design. After analyzing the building profile, geographic location and climate characteristics, the designer creates an architectural scheme. Then, parameters are inserted in the model, and the evaluation is performed. If the green building requirements are not met, a new design must be developed (HeJie et al., 2014).

BIM-based performance optimization, BPOpt, was proposed by (Rahmani et al., 2015) as an integrated framework to establish multidisciplinary optimization in the process of performance-based design. It integrates the information stored in parametric BIM with performance analysis to make design and performance optimization more accessible in the design process.

Another relevant aspect of BIM are families. Green materials must be researched and identified, and its specification collected. Then, the families must be designed and converted to BIM format files and added to the database (Jrade and Jalaei, 2013), this topic correlates to sustainability issues, especially when considering materials and resources.

4.2.2. Construction

The greatest goal of developing and promoting BIM is to develop built environments with the least possible construction and operation costs, also minimizing resource consumptions (Wang and Zhai, 2016). During the construction stage, the greatest BIM potential in sustainability may come from the application of lean

construction. Also, it is important to notice that design and construction can be fully integrated through BIM (Gordon and Holness, 2008).

Shadram et al. (2016) even suggest that the use of BIM during the construction stage may minimize embodied energy, automating the tracking of distances between suppliers' facilities and the construction site. This way, distances can be reduced, dropping levels of embodied energy.

When applying for LEED ratings, the design documentation is submitted to the U.S. Green Building Council (USGBC, 2017) during the construction. Based on that information, it is determined whether or not to award the LEED points. However, certification is not received until the construction is finished, and any changes made during construction stage require documents to be re-submitted (Azhar et al., 2011). BIM can aid in this process of as-built documentation (Zanni et al., 2014), even through photogrammetric technology (Klein et al., 2012).

4.2.3. Operation

Especially in the construction of industrial plants, as-built design documents often are incomplete or flawed. This results in operational problems once the plant is handed over from construction to operation. To improve this situation, the utilization of automatic planning technologies and of sensory devices in quality control may aid users to handle a dynamic operation environment (Chi et al., 2015). Complex green BIM models generate big amounts of data. This information can be used for managing and monitoring a building's sustainability performance. A positive impact on life-cycle costs can be noticed if dynamic operational and maintenance plan is used (Wong and Zhou, 2015).

Energy simulation can be used to virtually test different system/building operation strategies. These strategies can afterward be implemented in the actual building. Some barriers to this are interoperability issues, such as IFC problems and lack of data (Costa et al., 2013).

Some models and systems are especially limited in the operation phase, because they only represent construction activities. So, methods can be developed to automatically link the construction and operation activities through BIM (Kim et al., 2015). Also, to implement BIM for building and construction operation, users must first find the practical applications of BIM in infrastructure management, shifting to an easier management of the operation (Costin et al., 2018).

4.2.4. Maintenance

Building sustainability analysis and management should not be just limited to the design and construction stages, but also extend to the entire lifecycle of a building, including maintenance (Wong and Zhou, 2015). The maintenance of facilities is a multi-domain problem encompassing financial accounting, building maintenance, facility management, human resources, asset management and code compliance, affecting different stakeholders in different ways (Curry et al., 2013).

Another relevant aspect of maintenance is the measurement of the level of emitted gases and fuel and electricity consumption (Wu et al., 2014). By measuring a building's energy consumption, it is possible draw up a GRD (Green retrofit design), which consists of the following technical measures:

- i. Develop energy-saving building plans and designs;
- ii. Implement new energy-saving technical measures, such as cold storage technology and cooling tower technology;
- iii. Perform system maintenance and management of energy-saving technical measures (Bu et al., 2015).

To perform this kind of tasks and measures, applying BIM practices may allow the process to become more efficient. (Sanhudo et al., 2018).

4.2.5. Demolition

Re-use of building components and disassembly have numerous advantages over traditional demolition and/or recycling. Deconstruction activities include concrete demolition, hacking, breaking it into smaller pieces, removal of reinforcing bars and steel components, transportation of rubble to steel and concrete recycling plants, and finally the recycling process itself. Adopting more sustainable deconstruction strategies as reuse and recycling may also result in economy and energy savings, eliminating the need for traditional demolition and landfilling of rubble. With the aid of BIM, this cost may be estimated by calculating the magnitude of work required, using the attributes that connect the activity to the components, and multiplying it by the unitary cost (either entered manually by the user or imported from data libraries) (Akbarnezhad et al., 2014). A building's primary life is enveloped by the traditional lifecycle (design and the extraction of raw materials until demolition). However, the secondary life begins when concrete is recycled and used in a new construction (Wu et al., 2014). Another relevant concern in sustainability in this stage of the lifecycle are the gas emissions generated from dust from soil disturbance and demolition (Azzi et al., 2015).

By using BIM with a higher level of detail, it can be possible to estimate the types and quantities of demolition waste with greater accuracy. This can serve not only as an estimation tool for the demolition waste, but also to provide tools to calculate recycling practices and environmental impact assessment, improving sustainability in the end-of-life stages of buildings. (Kim et al., 2017).

4.3. Interoperability

Authors (Chen, 2008) interpret interoperability through three axes: concerns, barriers and approaches. Approaches can be understood as interoperability levels, them being: integrated, unified or federated. The next axis consists of interoperability barriers. They can be conceptual, technical or organizational. This means that there is more to interoperability than systems and technical issues. Finally, the final axis presents interoperability concerns: Business, process, service and data. This section presents interoperability main issues in the construction industry, especially related to BIM and sustainability, structured based on Chen's (2008) concerns.

4.3.1. Business

The demand for sustainable construction is growing all over the world, and many companies are discovering the green building design and construction business. In addition, new environmental policies and regulations have been created in the business of civil construction. The use of energy efficiency is a new topic in the construction market and with the current competitive scenario in business, companies have been looking for new ways to stand out (Azzi et al., 2015). The implementation of BIM can help in this competitiveness and the adoption of sustainable measures. But the implementation of BIM requires a significant change in the way the construction business functions in virtually its entire process. The company needs to improve its integration and production capacity with other disciplines in the production process (Arayici et al., 2011).

One of the improvements of BIM is the need to have a fully collaborative environment, which changes the traditional way of the business, and this needs to take the various levels of the company to adapt to technological improvements (Zanni et al., 2014).

Nevertheless, there is little research that can contribute to a better understanding of BIM implementation in the business process, or how the implementation of BIM can influence sustainable project outcomes (Wu and Issa, 2014).

4.3.2. Process

The entire process of a construction (briefing, design, construction, use, re-use and recycling) requires a participation from its designers, builders and users. This complexity of constructions is due to the fact that various parties are involved in different areas, with professionals from different backgrounds and fields, using different means of interaction. (Goçer et al., 2015). Authors show that the development of specifications for the design process can increase flexibility, create understanding between stakeholders about which information chunks should be provided at which stage, information destination and also aid in tool selection. (Arayici et al., 2018).

The use of digital technologies may modify the design process (Negendahl, 2015). One of these technologies that modify the civil construction process is BIM, but there is still a lack of standard business processes to execute green projects (Wu and Issa, 2014). Some studies show that the use parametric systems can optimize energy simulation. In order to find solutions for the projects, the energy simulation process uses the information stored in BIM, such as its geometry, material information and location (Asla et al., 2015).

Despite the efforts to create a framework for helping professionals perform sustainability analyzes in the early stages of design, there is still no fully structured process. The process is not to be a prescription of what should be done, but to aid professionals to take sustainability into account during the design process (Zanni et al., 2014).

4.3.3. Services

Services interoperability can be defined as the ability of an enterprise to dynamically register, aggregate and consume composite services of an external source (Chen et al., 2008). Authors even suggest the concept of resource sharing within the design of new cloud-based data services like external sources (Curry et al., 2013; Wong and Zhou, 2015).

Services interoperability is also present in the exchange of information between multidisciplinary teams that are geographically distributed (e.g., owners, architects, consultants, contractors, sub-contractors, suppliers, and engineers) (Jiao et al., 2013) (J. Kim et al., 2015). Any information related to the green materials can be stored in an external database in the form of predefined design families that can be recognized by the BIM tool. These databases can also be called external libraries (Jalaei and Jade, 2014).

4.3.4. Data

In recent years, BIM is climbing positions in building representation, being settled as the paradigm for data collection (Diaz-Vilarino et al., 2013). To integrate sustainable data into BIM is critically important. In some cases, a team may need to import information to the BIM model from an outside source, such as a database of weather data or material properties, and this information must be easily available for users (Ilhan and Yaman, 2016).

Data interoperability can occur through the extension IFC (Industry Foundation Classes). This data model is the standard data specification for exchanging information throughout the entire lifecycle of a building. Another important format for BIM interoperability is XML, which defines a set of rules for encoding documents in a human-readable and machine-readable format (Jrade and Jalaei, 2013). One relevant way to structure information, achieve representation, manage heterogeneous data and enable

Table 5

Relational matrix LEED x Lifecycle stages.

	Sustainable Sites	Water efficiency	Energy and atmosphere	Materials and resources	Indoor Environmental Quality	Innovation in operation and regional priority
Design	0.00	0.00	0.66	0.49	0.31	0.46
Construction	1.00	0.14	0.00	0.34	0.00	0.00
Operation	0.17	0.49	0.00	0.00	0.11	0.00
Maintenance	0.00	0.11	0.49	0.09	0.00	0.00
Demolition	0.00	0.00	0.00	0.20	0.20	0.37

automated compliance checking is to structure building ontologies. Such ontologies can be especially useful for environmental monitoring and compliance checking. (Zhong et al., 2018).

BIM for a large-scale development must include multi-disciplinary data (J.I. Kim et al., 2015). Because of this, centralizing building information data in a shared data schema is necessary for efficient interoperability (Negendahl, 2015).

5. Integrated analysis

From the literature review, it was noticed that each LEED field presents an influence on a lifecycle stage. For example: In the demolition stage, materials present a high impact, since the disposal of the materials can be hazardous to the environment, however, the same concrete structures present little to no environmental influence in the operational stage. This degree of influence can be called a relational factor (RF) and can be used to verify which field presents more influence on each stage.

Through the qualitative analysis of the selected papers, it was possible to determine which lifecycle stage correlates the most with which LEED field. Nodes were added to each topic studied in lifecycle stages and LEED fields. Whenever the terms appeared, a mark called node was added to the paper on a QDA software (qualitative data analysis software). The articles with 10% most nodes in each topic were identified, (in the case, 12 papers in each category represent the top 10%). Finally, the results crossed, so if a paper was in the top 10% in a LEED field, it was analyzed if it was well classified in the lifecycle stages well. Papers that also had a high score on the lifecycle topics were awarded 12 points for the one with the most nodes, 11 points for the second and so on. Then, the scores were added, and a relational matrix was developed by dividing the scores by the highest value, generating a proportion (Table 5).

For example, it can be noticed that water efficiency has great importance in the operation stage, while material and resources must receive special consideration in the design, construction and demolition parts of the lifecycle. Also, the most relevant connection is from sustainable sites to the construction phase, however there is 0% connection between sustainable sites and the design stage. Energy is strongly connected to design and interestingly to maintenance, since apparently energy retrofitting can provide interesting results in improving sustainability (Sanhudo et al., 2018). Finally, both innovation and regional priority and indoor environmental quality are closely linked to the design stage.

To better demonstrate and understand the interoperability for sustainability in the BIM lifecycle, a simple framework can be used: one must first consider the BIM lifecycle enveloping all fields in the construction industry, demonstrated in the exterior lane. Then, as a goal to improve sustainability, the LEED domains are placed in the innermost lane. Between the sustainability lane and the BIM lifecycle lane, there is the lane of interoperability, that presents the interoperability concerns. This lane bridges the other two, connecting the lifecycle to sustainability aspects. This schema can be seen in Fig. 6.

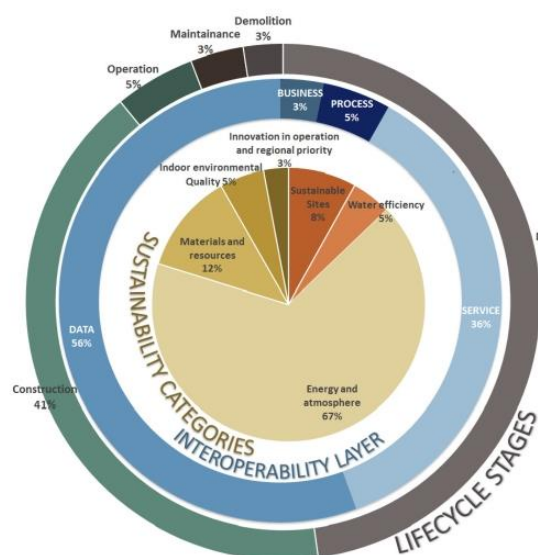


Fig. 6. Framework model for interoperability maturity in the green BIM LC.

These relational factors can be used, for example, as criteria on a multicriteria decision process, to evaluate the maturity level of each construction industry domain. It is possible to apply other weights to the areas studied as well. These weights can come from specialists and domain data and can be used to aid decision making towards more sustainable buildings (Tsai and Chang, 2012; Marzouk et al., 2018).

The research also showed an inclination for researchers to develop studies focusing in the design stage (about 48%). Also, it was noticed that operation and maintenance are profoundly linked in the construction industry, and are underrepresented in the considerations of a building's lifecycle. This highlights a need to consider the entire lifecycle of a building, since for example, the three final stages (demolition, maintenance and operation) make up less than 10% of papers. Also, more LEED topics should receive attention as well, while energy and atmosphere receive great attention, (67%) Innovation and regional priority make-up 3% of the journals considered. Interoperability, however, presents big concerns with data and services, but little concern to more the strategic fields.

Concomitantly to other reviews such as performed by Jung et al. (2018), that showed that the current practice of BIM utilization tends to focus more on 'performance of a project' than the 'performance of the building', this research also showed that there is an extensive focus on design and planning.

When considering sustainability aspects, efficient interoperability in the use of BIM can lead to improved sustainability in the AEC industry. The minimization of information loss and better-

defined processes allow users to perform more extensive analysis, improving energy use, quality of the indoor environment and water efficiency. Some important suggestions to link the interoperability layer with sustainability concepts is the use of ontologies to structure information and improve environmental monitoring (Zhong et al., 2018).

6. Conclusion and future research

The paper presented a systematic literature review. Papers from 2006 to mid-2018 concerning sustainability, BIM and interoperability were searched. The searches were limited to three main academic databases (Scopus, Engineering Village and Proquest). Through Methodi Ordinatio and a multicriteria decision method the papers were ranked and analyzed with the aid of a QDA system. A total of 272 papers were downloaded, some were excluded due to duplication and a final pool of 230 papers were ranked. The top 50% (115 papers) were analyzed and included in the literature review.

This article presented relevant issues for the advancement of the AEC industry, such as sustainable buildings and digitalization, mainly in the forms of BIM and interoperability, and especially the connection of both fields. Also, the gaps in the fields could be used to support further research and the relational factor could even aid professionals in their decision-making processes, directing where the focus should be on each stage.

From this research it was possible to notice that the Green BIM lifecycle has been studied thoroughly in the past couple of years, presenting an exponential growth on the topic. Even with this growth, it was noticed that papers tend to focus on one stage of the lifecycle alone. Also, it was verified that more than half of the papers are concerned with the design, a few consider the construction stage, but very few consider the final stages of the lifecycle.

When considering sustainability, credits related to energy and atmosphere also make-up more than half of the studies. Topics related to materials and resources also receive some attention, but the other four LEED topics (Indoor environmental quality, innovation and regional priority, sustainable sites and water efficiency) are also very under-covered.

Technological innovation is presented through BIM and interoperability. However, the broader aspects of interoperability, services and business, are often not studied, while more technical aspects of data interoperability receive more attention. Interoperability is the field that can connect and improve both the lifecycle and sustainability, opening doors for innovation, economic and sustainable buildings.

So, along with this lack of a holistic view of the system, such analysis of these topics in the light of interoperability is needed. In the future, this review can be used to structure a framework for interoperability in the Green BIM lifecycle, to present solutions and patterns to organize knowledge and data and systematize processes. These tools can even aid and improve decision-making processes, to further develop sustainability in the construction industry. For example, future researches can use the relational factor calculated in section five can be used as weights for a multicriteria decision system, that can aid users to choose where to prioritize for better sustainable results.

Declarations of interest

None.

References

Akbarnezhad, A., Ong, K.C.G., Chandra, L.R., 2014. Economic and environmental assessment of deconstruction strategies using building information modeling.

- Autom. Construct. 37, 131–144. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2013.10.017>.
- Al-Ghamdi, S.G., Bilec, M.M., 2015. Life-cycle thinking and the LEED rating system: global perspective on building energy use and environmental impacts. *Environ. Sci. Technol.* 49, 4048–4056. <https://doi.org/10.1021/es505938u>.
- Al-Ghamdi, S.G., Bilec, M.M., 2017. Green building rating systems and whole-building life cycle assessment: comparative study of the existing assessment tools. *J. Archit. Eng.* 23. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)AE.1943-5568.0000222](https://doi.org/10.1061/(ASCE)AE.1943-5568.0000222).
- Alwan, Z., Greenwood, D., Gledson, B., 2015. Rapid LEED Evaluation Performed with BIM Based Sustainability Analysis on a Virtual Construction Project, vol. 15, pp. 134–150. <https://doi.org/10.1108/CI-01-2014-0002>.
- Alwan, Z., Jones, P., Holgate, P., 2017. Strategic sustainable development in the UK construction industry, through the framework for strategic sustainable development, using Building Information Modelling. *J. Clean. Prod.* 140, 349–358. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.12.085>.
- Andriamamonjy, A., Saelens, D., Klein, R., 2018. An automated IFC-based workflow for building energy performance simulation with modelica. *Autom. Construct.* 91, 166–181. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.03.019>.
- Araszkiewicz, K., 2016. Green BIM concept- scandinavian LXII. <https://doi.org/10.1108/CI-01-2014-0002>.
- Arayici, Y., Coates, P., Koskela, L., Kagioglou, M., Usher, C., O'Reilly, K., 2011. Technology adoption in the BIM implementation for lean architectural practice. *Autom. Construct.* 20, 189–195. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2010.09.016>.
- Arayici, Y., Fernando, T., Munoz, V., Bassanino, M., 2018. Interoperability specification development for integrated BIM use in performance based design. *Autom. Construct.* 85, 167–181. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.10.018>.
- Azhar, S., Carlton, W.A., Olsen, D., Ahmad, I., 2011. Building information modeling for sustainable design and LEED ® rating analysis. *Autom. Construct.* 20, 217–224. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2010.09.019>.
- Azzi, M., Duc, H., Ha, Q.P., 2015. Toward sustainable energy usage in the power generation and construction sectors—a case study of Australia. *Autom. Construct.* 59, 122–127. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2015.08.001>.
- Behzadi, A., 2016. Using augmented and virtual reality technology in the construction industry. *Am. J. Eng. Res. Ume-5*, 350–353.
- Bu, S., Shen, G., Anumba, C.J., Wong, A.K.D., Liang, X., 2015. Literature review of green retrofit design for commercial buildings with BIM implication. *Smart Sustain. Built Environ.* 4, 188–214. <https://doi.org/10.1108/SASBE-08-2014-0043>.
- Chardon, S., Brangeon, B., Bozonnet, E., Inard, C., 2016. Construction cost and energy performance of single family houses: from integrated design to automated optimization. *Autom. Construct.* 70, 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2016.06.011>.
- Chen, D., Doumeingts, G., Vernadat, F., 2008. Architectures for enterprise integration and interoperability: past, present and future. *Comput. Ind.* 59, 647–659. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2007.12.016>.
- Chi, H.L., Wang, J., Wang, X., Truijens, M., Yung, P., 2015. A conceptual framework of quality-assured fabrication, delivery and installation processes for liquefied natural gas (LNG) plant construction. *J. Intell. Robot. Syst. Theory Appl.* 79, 433–448. <https://doi.org/10.1007/s10846-014-0123-9>.
- Cho, Y.K., Gai, M., 2013. Projection-recognition-projection method for automatic object recognition and registration for dynamic heavy equipment operations. *J. Comput. Civ. Eng.* 28, 1–9. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)JCP](https://doi.org/10.1061/(ASCE)JCP).
- Chong, H.-Y., Wang, X., 2016. The outlook of building information modeling for sustainable development. *Clean Technol. Environ. Policy* 18, 1877–1887. <https://doi.org/10.1007/s10098-016-1170-7>.
- Costa, A., Keane, M.M., Torrens, J.L., Corry, E., 2013. Building operation and energy performance: monitoring, analysis and optimisation toolkit. *Appl. Energy* 101, 310–316. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2011.10.037>.
- Costa, O., Fuerst, F., Robinson, S.J., Mendes-Da-Silva, W., 2018. Green label signals in an emerging real estate market. A case study of Sao Paulo, Brazil. *J. Clean. Prod.* 184, 660–670. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.02.281>.
- Costin, A., Adibfar, A., Hu, H., Chen, S.S., 2018. Building Information Modeling (BIM) for transportation infrastructure — literature review, applications, challenges, and recommendations. *Autom. Construct.* 94, 257–281. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.07.001>.
- Crosbie, T., Dawood, N., Dean, J., 2010. Energy profiling in the life-cycle assessment of buildings. *Manag. Environ. Qual. Int. J.* 21, 20–31. <https://doi.org/10.1108/14777831011010838>.
- Curry, E., O'Donnell, J., Corry, E., Hasan, S., Keane, M., O'Riain, S., 2013. Linking building data in the cloud: integrating cross-domain building data using linked data. *Adv. Eng. Inf.* 27, 206–219. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2012.10.003>.
- Dassisti, M., Jardim-Goncalves, R., Molina, A., Noran, O., Panetto, H., Zdravković, M.M., 2013. Sustainability and interoperability: two facets of the same gold medal. *Lect. Notes Comput. Sci. (inc. Subser. Lect. Notes Artif. Intell. Lect. Notes Bioinfo.)* 8186 LNCS 250–261. https://doi.org/10.1007/978-3-642-41033-8_33.
- Díaz-Vilarino, L., Lauela, S., Armesto, J., Arias, P., 2013. Semantic as-built 3d models including shades for the evaluation of solar influence on buildings. *Sol. Energy* 92, 269–279. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2013.03.01>.
- Ding, L., Zhou, Y., Akinci, B., 2014. Building Information Modeling (BIM) application framework: the process of expanding from 3D to computable nD. *Autom. Construct.* 46, 82–93. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2014.04.009>.
- Doan, D.T., Ghaffarianhoseini, A., Naismith, N., Zhang, T., Ghaffarianhoseini, A., Tooke, J., 2017. A critical comparison of green building rating systems. *Build. Environ.* 123, 243–260. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.07.007>.
- Dong, B., O'Neill, Z., Li, Z., 2014. A BIM-enabled information infrastructure for

- building energy Fault Detection and Diagnostics. *Autom. Construct.* 44, 197–211. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2014.04.007>.
- El-Daraby, T., Krijnen, T., Papagelis, M., 2017. BIM-based collaborative design and socio-technical analytics of green buildings. *Autom. Construct.* 82, 59–74. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.06.004>.
- Eleftheriadis, S., Mumovic, D., Greening, P., 2017. Life cycle energy efficiency in building structures: a review of current developments and future outlooks based on BIM capabilities. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 67, 811–825. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.09.028>.
- Farghaly, K., Abanda, F.H., Vidalakis, C., Wood, G., 2018. Taxonomy for BIM and asset management semantic interoperability. *J. Manag. Eng.* 34, 4018012. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)ME.1943-5479.0000610](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000610).
- Gan, V.J.L., Deng, M., Tse, K.T., Chan, C.M., Lo, I.M.C., Cheng, J.C.P., 2018. Holistic BIM framework for sustainable low carbon design of high-rise buildings. *J. Clean. Prod.* 195, 1091–1104. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.05.272>.
- GhaffarianHoseini, A., Doan, D.T., Naismith, N., Tooke, J., GhaffarianHoseini, A., 2017. Amplifying the practicality of contemporary building information modelling (BIM) implementations for New Zealand green building certification (Green Star). *Eng. Construct. Architect. Manag.* 24, 696–714. <https://doi.org/10.1108/ECAM-02-2016-0043>.
- Gimenez, L., Robert, S., Suard, F., Zreik, K., 2016. Automatic reconstruction of 3D building models from scanned 2D floor plans. *Autom. Construct.* 63, 48–56. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2015.12.008>.
- Gökçe, H.U., Gökçe, K.U., 2014a. A Integrated system platform for energy efficient building operations. *J. Comput. Civ. Eng.* 28. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CP.1943-5487.0000288](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0000288).
- Gökçe, H.U., Gökçe, K.U., 2014b. Multi dimensional energy monitoring, analysis and optimization system for energy efficient building operations. *Sustain. Cities Soc.* 10, 161–173. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2013.08.004>.
- Gordon, V.R., Holness, P.E., 2008. BIM Gaining Momentum. *Am. Soc. Heating, Refrig. Air-Cond. Eng. Inc.*
- Gourlis, G., Kovacic, I., 2017. Building Information Modelling for analysis of energy efficient industrial buildings – a case study. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 68, 953–963. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.02.009>.
- Göçer, O., Hua, Y., Göçer, K., 2015. Completing the missing link in building design process: enhancing post-occupancy evaluation method for effective feedback for building performance. *Build. Environ.* 89, 14–27. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.02.011>.
- Green Building Council, U.S., 2017. Green Building Facts. <http://www.usgbc.org>. (Accessed 17 May 2018).
- Gulliver, S., Grzybek, H., Radosavljevic, M., Wiafe, I., 2013. Changing building user attitude and organisational policy towards sustainable resource use in health-care. *Heal. Policy Technol.* 2, 75–84. <https://doi.org/10.1016/j.hlpt.2013.03.006>.
- Guzmán Garcia, E., Zhu, Z., 2015. Interoperability from building design to building energy modeling. *J. Build. Eng.* 1, 33–41. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2015.03.001>.
- Habibi, S., 2017. The promise of BIM for improving building performance. *Energy Build.* 153, 525–548. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.08.009>.
- Ham, Y., Golparvar-Fard, M., 2015. Mapping actual thermal properties to building elements in gbXML-based BIM for reliable building energy performance modeling. *Autom. Construct.* 49, 214–224. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2014.07.009>.
- Han, R., Gao, Y., Shao, D., 2016. Research on the application of building information model technology in the design of Urban residential buildings in cold region, 10, pp. 183–194. <https://doi.org/10.14257/jsh.2016.10.5.17>.
- Harmathy, N., Magyar, Z., Folic, R., 2016. Multi-criterion optimization of building envelope in the function of indoor illumination quality towards overall energy performance improvement, 114, pp. 302–317. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.07.162>.
- He, B., Jie, Ye, M., Yang, L., Fu, X.P., Mou, B., Griffy-Brown, C., 2014. The combination of digital technology and architectural design to develop a process for enhancing energy-saving: the case of Maanshan China. *Technol. Soc.* 39, 77–87. <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2014.10.002>.
- Hiyama, K., Kato, S., Kubota, M., Zhang, J., 2014. A new method for reusing building information models of past projects to optimize the default configuration for performance simulations. *Energy Build.* 73, 83–91. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.01.025>.
- Hjelseth, E., 2010. Exchange of relevant information in BIM objects defined by the role- and life-cycle information model. *Architect. Eng. Des. Manag.* 6, 279–287. <https://doi.org/10.1016/j.aedm.2010.10.005>.
- Hong, J., Kim, D., Lee, M., Eom, J., Choi, C.-H., 2017. An advanced process of condensation performance evaluation by BIM application. *Ann. Mater. Sci. Eng.* 2017. <https://doi.org/10.1155/2017/1064064>. Article ID 1064064.
- Hwang, C.L., Yoon, K., 1981. *Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications*. Springer-Verlag, New York.
- Iddon, C.R., Firth, S.K., 2013. Embodied and operational energy for new-build housing: a case study of construction methods in the UK. *Energy Build.* 67, 479–488. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.08.041>.
- Ilhan, B., Yaman, H., 2016. Green building assessment tool (GBAT) for integrated BIM-based design decisions. *Autom. Construct.* 70, 26–37. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2016.05.001>.
- Jalaei, F., Jade, A., 2014. Integrating Building Information Modeling (BIM) and energy analysis tools with green building certification system to conceptually design sustainable buildings. *J. Inf. Technol. Constr.* 19, 494–519. <https://doi.org/10.1007/s12273-013-0120-0>.
- Jang, S., Lee, G., 2018. Process, productivity, and economic analyses of BIM-based multi-trade prefabrication—a case study. *Autom. Construct.* 89, 86–98. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.12.035>.
- Janssens, H., 2013. Passive cooling for school. *ASHRAE J.* 55, 54–60.
- Jeong, S.-K., Ban, Y.-U., 2011. Developing a topological information extraction model for space syntax analysis. *Build. Environ.* 46, 2442–2453. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2011.05.024>.
- Jeong, W., Kim, J.B., Clayton, M.J., Haberl, J.S., Yan, W., 2014. Translating building information modeling to building energy modeling using model view definition. *Sci. World J.* 638276, 2014. <https://doi.org/10.1155/2014/638276>.
- Jiao, Y., Wang, Y., Zhang, S., Li, Y., Yang, B., Yuan, L., 2013. A cloud approach to unified lifecycle data management in architecture, engineering, construction and facilities management: integrating BIMs and SNS. *Adv. Eng. Inf.* 27, 173–188. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2012.11.006>.
- Jrade, A., Jalaei, F., 2013. Integrating building information modelling with sustainability to design building projects at the conceptual stage. *Build. Simul.* 6, 429–444. <https://doi.org/10.1007/s12273-013-0120-0>.
- Jung, N., Häkkinen, T., Rekola, M., 2018. Extending capabilities of bim to support performance based design. *J. Inf. Technol. Constr.* 23, 16–52.
- Kim, M.J., Lee, J.H., Wang, X., Kim, J.T., 2014. Health smart home services incorporating a MAR-based energy consumption awareness system. *J. Intell. Robot. Syst. Theory Appl.* 79, 523–535. <https://doi.org/10.1007/s10846-014-0114-x>.
- Kim, J., Fischer, M., Kunz, J., Levitt, R., 2015. Semiautomated scaffolding planning: development of the feature lexicon for computer application. *J. Comput. Civ. Eng.* 29. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CP.1943-5487.0000399](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0000399).
- Kim, J.J., Kim, J., Fischer, M., Orr, R., 2015. BIM-based decision-support method for master planning of sustainable large-scale developments. *Autom. Construct.* 58, 95–108. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2015.07.003>.
- Kim, J.J., Koo, B., Suh, S., Suh, W., 2016. Integration of BIM and GIS for formal representation of walkability for safe routes to school programs. *KSCE J. Civ. Eng.* 20, 1669–1675. <https://doi.org/10.1007/s12205-015-0791-4>.
- Kim, Y.-C., Hong, W.-H., Park, J.-W., Cha, G.-W., 2017. An estimation framework for building information modeling (BIM)-based demolition waste by type. *Waste Manag. Res.* 35, 1285–1295. <https://doi.org/10.1177/0734242X17736381>.
- Kitchenham, B., Charters, S., 2007. Guidelines for performing systematic literature reviews in software engineering version 2.3. *Engineering* 45, 1051. <https://doi.org/10.1145/1134285.1134500>.
- Klein, L., Li, N., Becerik-Gerber, B., 2012. Imaged-based verification of as-built documentation of operational buildings. *Autom. Construct.* 21, 161–171. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2011.05.023>.
- Kuo, H.J., Hsieh, S.H., Guo, R.C., Chan, C.C., 2016. A verification study for energy analysis of BIPV buildings with BIM. *Energy Build.* 130, 676–691. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.08.048>.
- Ladenhauf, D., Berndt, R., Krispel, U., Eggeling, E., Ullrich, T., Battisti, K., Gratzl-Michlmair, M., 2016. Geometry simplification according to semantic constraints: enabling energy analysis based on building information models. *Comput. Sci. Res. Dev.* 31, 119–125. <https://doi.org/10.1007/s00450-014-0283-7>.
- Larsen, K.E., Lattke, F., Ott, S., Winter, S., 2011. Surveying and digital workflow in energy performance retrofit projects using prefabricated elements. *Autom. Construct.* 20, 999–1011. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2011.04.001>.
- Liu, S., Meng, X., Tam, C., 2015. Building information modeling based building design optimization for sustainability. *Energy Build.* 105, 139–153. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.06.037>.
- Lu, W., Webster, C., Chen, K., Zhang, X., Chen, X., 2017. Computational Building Information Modelling for construction waste management: moving from rhetoric to reality. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 68, 587–595. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.10.029>.
- Ma, J., Cheng, J.C.P., 2017. Identification of the numerical patterns behind the leading counties in the U.S. local green building markets using data mining. *J. Clean. Prod.* 151, 406–418. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.03.083>.
- Ma, Z., Zhao, Y., 2008. Model of next generation energy-efficient design software for buildings. *Tsinghua Sci. Technol.* 13, 298–304. [https://doi.org/10.1016/S1007-0214\(08\)70165-2](https://doi.org/10.1016/S1007-0214(08)70165-2).
- Mah, D., Manrique, J.D., Yu, H., Al-Hussein, M., Nasser, R., 2011. House construction CO2 footprint quantification: a BIM approach. *Constr. Innov. Information, Process. Manag.* 11, 161–178. <https://doi.org/10.1108/1471417111124149>.
- Marzouk, M., Abdelaty, A., 2014. Monitoring thermal comfort in subways using building information modeling. *Energy Build.* 84, 252–257. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.08.006>.
- Marzouk, M., Azab, S., Metawie, M., 2018. BIM-based approach for optimizing life cycle costs of sustainable buildings. *J. Clean. Prod.* 188, 217–226. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.03.280>.
- McGlenn, K., Yuce, B., Wicaksono, H., Howell, S., Rezgui, Y., 2017. Usability evaluation of a web-based tool for supporting holistic building energy management. *Autom. Construct.* 84, 154–165. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.08.033>.
- Merschbrock, C., Nordahl-Rolfen, C., 2016. BIM technology acceptance among reinforcement workers - the case of oslo airport's terminal 2. *J. Inf. Technol. Constr.* 21, 1–12.
- Merschbrock, C., Hosseini, M.R., Martek, I., Arashpour, M., Mignone, G., 2018. Collaborative role of sociotechnical components in BIM-based construction networks in two hospitals. *J. Manag. Eng.* 34, 5018006. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)ME.1943-5479.0000605](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000605).
- Migilinskas, D., Balionis, E., Dziugaitė-Tumenienė, R., Siupsinskas, G., 2016. An advanced multi-criteria evaluation model of the rational building energy performance. *J. Civ. Eng. Manag.* 22, 844–851. <https://doi.org/10.3846/13923730>.

- 2016.1194316.
- Muller, M.F., Garbers, A., Esmanioto, F., Huber, N., Loures, E.R., Cancigliero, O., 2017. Data interoperability assessment through IFC for BIM in structural design – a five-year gap analysis. *J. Civ. Eng. Manag.* 23, 943–954. <https://doi.org/10.1016/j.jce.2017.1341850>.
- Najjar, M., Figueiredo, K., Palumbo, M., Haddad, A., 2017. Integration of BIM and LCA: evaluating the environmental impacts of building materials at an early stage of designing a typical office building. *J. Build. Eng.* 14, 115–126. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2017.10.005>.
- Negendahl, K., 2015. Building performance simulation in the early design stage: an introduction to integrated dynamic models. *Autom. Construct.* 54, 39–53. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2015.03.002>.
- Nguyen, B.K., Altan, H., 2011. Comparative review of five sustainable rating systems. *Procedia Eng.* 21, 376–386. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2011.11.2029>.
- Nguyen, T.H., Shehab, T., Gao, Z., 2010. Evaluating sustainability of architectural designs using building information modeling. *Open Construct. Build Technol. J.* 4, 1–8. <https://doi.org/10.2174/1874836801004010001>.
- Ning, G., Junnan, L., Yansong, D., Zhifeng, Q., Qingshan, J., Weihua, G., Geert, D., 2017. BIM-based PV system optimization and deployment. *Energy Build.* 150, 13–22. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.05.082>.
- Nour, M., Hosny, O., Elhakeem, A., 2015. A BIM based approach for configuring buildings' outer envelope energy saving elements. *J. Inf. Technol. Constr.* 20, 173–192.
- Pagani, R.N., Kovaleski, J.L., Resende, L.M., 2015. Methodi Ordination: a proposed methodology to select and rank relevant scientific papers encompassing the impact factor, number of citation, and year of publication. *Scientometrics*. <https://doi.org/10.1007/s11192-015-1744-x>.
- Parand, R., Yao, H.M., Foo, D.C.Y., Tade, M.O., 2016. An automated composite table algorithm considering zero liquid discharge possibility in water regeneration–recycle network. *Clean Technol. Environ. Policy* 18, 2095–2105. <https://doi.org/10.1007/s10098-016-1138-7>.
- Park, J.W., Chen, J., Cho, Y.K., 2017. Self-corrective knowledge-based hybrid tracking system using BIM and multimodal sensors. *Adv. Eng. Inf.* 32, 126–138. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2017.02.001>.
- Peng, C., 2016. Calculation of a building's life cycle carbon emissions based on Ecotect and building information modeling. *J. Clean. Prod.* 112, 453–465. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.08.078>.
- Pingaud, H., 2009. Rationalité du développement de l'interopérabilité dans les organisations. *Management des technologies organisationnelles* 19–30.
- Rahmani Asl, M., Zarrinmehr, S., Bergin, M., Yan, W., 2015. BPOpt: a framework for BIM-based performance optimization. *Energy Build.* 108, 401–412. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.09.011>.
- Rebolj, D., Fischer, M., Endy, D., Moore, T., Orgo, A., 2011. Can we grow buildings? Concepts and requirements for automated nano- to meter-scale building. *Adv. Eng. Inf.* 25, 390–398. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2010.08.006>.
- Sanguinetti, P., Abdelmohsen, S., Lee, J., Lee, J., Sheward, H., Eastman, C., 2012. General system architecture for BIM: an integrated approach for design and analysis. *Adv. Eng. Inf.* 26, 317–333. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2011.12.001>.
- Sanhudo, L., Ramos, N.M.M., Poças Martins, J., Almeida, R.M.S.F., Barreira, E., Simões, M.L., Cardoso, V., 2018. Building information modeling for energy retrofitting – a review. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 89, 249–260. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.03.064>.
- Santos, R., Costa, A.A., Grilo, A., 2017. Bibliometric analysis and review of Building Information Modelling literature published between 2005 and 2015. *Autom. Construct.* 80, 118–136. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.03.005>.
- Schlueter, A., Thesseling, F., 2009. Building information model based energy/exergy performance assessment in early design stages. *Autom. Construct.* 18, 153–163. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2008.07.003>.
- Shadram, F., Johansson, T.D., Lu, W., Schade, J., Olofsson, T., 2016. An Integrated BIM-Based Framework for Minimizing Embodied Energy during Building Design, vol. 128, pp. 592–604. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.07.007>.
- Soust-Verdaguer, B., Llatas, C., García-Martínez, A., 2017. Critical review of bim-based LCA method to buildings. *Energy Build.* 136, 110–120. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.12.009>.
- Soust-Verdaguer, B., Llatas, C., García-Martínez, A., Gómez De Cózar, J.C., 2018. BIM-based LCA method to analyze envelope alternatives of single-family houses: case study in Uruguay. *J. Archit. Eng.* 24. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)AE.1943-5568.0000303](https://doi.org/10.1061/(ASCE)AE.1943-5568.0000303).
- Srikrishna, S., Sreenivasulu, R.A., Vani, S., 2014. A new car selection in the market using TOPSIS technique. *Int. J. Eng. Res. Gen. Sci.* 2, 177–181.
- Stadel, A., Eboli, J., Ryberg, A., Mitchell, J., Spataro, S., 2011. Intelligent sustainable design: integration of carbon accounting and building information modeling. *J. Prof. Issues Eng. Educ. Pract.* 137, 51–54. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)EI.1943-5541.0000053](https://doi.org/10.1061/(ASCE)EI.1943-5541.0000053).
- Sun, S., Kensek, K., Noble, D., Schiler, M., 2016. A method of probabilistic risk assessment for energy performance and cost using building energy simulation. *Energy Build.* 110, 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.09.070>.
- Suzer, O., 2015. A comparative review of environmental concern prioritization: LEED vs other major certification systems. *J. Environ. Manag.* 154, 266–283. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2015.02.029>.
- Szonyi, L., 2010. Building Information Modelling in the decision process of retrofitting the envelope of public buildings – a case study. *Period. Polytech. Eng.* 54, 143–154. <https://doi.org/10.3311/pp.ci.2010-2.10>.
- Tan, P.Y., Ismail, M.R. Bin, 2015. The effects of urban forms on photosynthetically active radiation and urban greenery in a compact city. *Urban Ecosyst.* 18, 937–961. <https://doi.org/10.1007/s11252-015-0461-9>.
- Tian, Y., Yue, H., 2016. Application Research of BIM Technology in Computer Aided Design of Building Foundation, vol. 51, pp. 427–432. <https://doi.org/10.3303/CET1651072>.
- Tixier, A.J.P., Hallowell, M.R., Rajagopalan, B., Bowman, D., 2016. Application of Machine Learning to Construction Injury Prediction, vol. 69, pp. 102–114. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2016.05.016>.
- Tsai, C.Y., Chang, A.S., 2012. Framework for developing construction sustainability items: the example of highway design. *J. Clean. Prod.* 20, 127–136. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2011.08.009>.
- Valero, E., Adán, A., Bosché, F., 2016. Semantic 3D reconstruction of furnished interiors using laser scanning and RFID technology. *J. Comput. Civ. Eng.* 30, 4015053. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CP.1943-5487.0000525](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0000525).
- Wang, Y., Wang, X., Wang, J., Yung, P., Jun, G., 2013. Engagement of facilities management in design stage through BIM: framework and a case study. *Adv. Civ. Eng.* 2013. <https://doi.org/10.1155/2013/189105>. Article ID 189105.
- Wang, C., Cho, Y.K., Kim, C., 2015. Automatic BIM component extraction from point clouds of existing buildings for sustainability applications. *Autom. Construct.* 56, 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2015.04.001>.
- Wang, H., Zhai, Z., John, 2016. Advances in building simulation and computational techniques: a review between 1987 and 2014, 128, pp. 319–335. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.06.080>.
- Watson, A., 2011. Digital buildings – challenges and opportunities. *Adv. Eng. Inf.* 25, 573–581. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2011.07.003>.
- Wong, J.K.W., Zhou, J., 2015. Enhancing environmental sustainability over building life cycles through green BIM: a review. *Autom. Construct.* 57, 156–165. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2015.06.003>.
- Wu, I.-C., Chang, S., 2013. Visual Req calculation tool for green building evaluation in Taiwan. *Autom. Construct.* 35, 608–617. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2013.01.006>.
- Wu, W., Issa, R.R.A., 2014. BIM execution planning in green building projects: LEED as a use case. *J. Manag. Eng.* 31, 1–18. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)ME.1943-5479.0000314](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000314).
- Wu, P., Xia, B., Zhao, X., 2014. The importance of use and end-of-life phases to the life cycle greenhouse gas (GHG) emissions of concrete – a review. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 37, 360–369. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.04.070>.
- Wu, P., Mao, C., Wang, J., Song, Y., Wang, X., 2016. A decade review of the credits obtained by LEED v2.2 certified green building projects. *Build. Environ.* 102, 167–178. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.03.026>.
- Yeoh, J.K.W., Lee, S.L., Ong, K.C.G., 2018. Development of a BIM-based framework to support the analysis of “design-for-disassembly” strategies justin. *Constr. Res. Congr.* 759, 759–768, 2018.
- Zanni, M.-A., Soetanto, R., Ruikar, K., 2014. Defining the sustainable building design process: methods for BIM execution planning in the UK. *Int. J. Energy Sect. Manag.* 8, 562–587. <https://doi.org/10.1108/IJESM-04-2014-0005>.
- Zhang, S., Boukamp, F., Teizer, J., 2015a. Ontology-based semantic modeling of construction safety knowledge: towards automated safety planning for job hazard analysis (JHA). *Autom. Construct.* 52, 29–41. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2015.02.005>.
- Zhang, S., Teizer, J., Pradhananga, N., Eastman, C.M., 2015b. Workforce location tracking to model, visualize and analyze workspace requirements in building information models for construction safety planning. *Autom. Construct.* 60, 74–86. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2015.09.009>.
- Zhang, H., Chen, D., Guo, P., Luo, X., George, A., 2018. A novel surface-cluster approach towards transient modeling of hydro-turbine governing systems in the start-up process. *Energy Convers. Manag.* 165, 861–868. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2018.03.097>.
- Zhong, B., Gan, C., Luo, H., Xing, X., 2018. Ontology-based framework for building environmental monitoring and compliance checking under BIM environment. *Build. Environ.* 141, 127–142. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.05.046>.
- Zhou, Y., Ding, L., Wang, X., Truijens, M., Luo, H., 2015. Applicability of 4D modeling for resource allocation in mega liquefied natural gas plant construction. *Autom. Construct.* 50, 50–63. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2014.10.016>.