UNIVERSIDADE PAULISTA

VANTAGENS DAS FERRAMENTAS BUILDING INFORMATION MODELING – BIM – NO PANORAMA DO PROJETO DE EDIFICAÇÕES NO BRASIL

SAMUEL DERESTE DOS SANTOS

São Paulo

2016

UNIVERSIDADE PAULISTA

SAMUEL DERESTE DOS SANTOS

VANTAGENS DAS FERRAMENTAS BUILDING INFORMATION MODELING – BIM – NO PANORAMA DO PROJETO DE EDIFICAÇÕES NO BRASIL

Tese apresentada no Programa de Pós-Graduação *Strictu Sensu* em Engenharia de Produção da Universidade Paulista - UNIP, como pré-requisito para obtenção do título de Doutor em Engenharia de Produção.

Área de Conhecimento: Engenharia de Produção
Área de Concentração: Gestão de Sistemas de Operação
Linha de Pesquisa: Redes de Empresa e Planejamento da Produção
Projeto de Pesquisa: Estratégias para melhoria da competitividade

Orientador: Professor Doutor Oduvaldo Vendrametto

São Paulo
2016

ERRATA

SAMUEL DERESTE DOS SANTOS

VANTAGENS DAS FERRAMENTAS BUILDING INFORMATION MODELING – BIM – NO PANORAMA DO PROJETO DE EDIFICAÇÕES NO BRASIL

Tese apresentada no Programa de Pós-Graduação *Strictu Sensu* em Engenharia de Produção da Universidade Paulista - UNIP, como pré-requisito para obtenção do título de Doutor em Engenharia de Produção.

Aprovado em: ____/____/____

BANCA EXAMINADORA

_____

Prof. Dr. Miguel León González
Universidade Cruzeiro do Sul

_____

Prof. Dr. Tufic Madi Filho
Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares – IPEN/SP

_____

Prof. Dr. João Gilberto Mendes dos Reis
Universidade Paulista – UNIP

_____

Profa. Dra. Irenilza de Alencar Nääs
Universidade Paulista - UNIP

_____

Orientador: Prof. Dr. Oduvaldo Vendrametto
Universidade Paulista – UNIP

Santos, Samuel Dereste dos.
Vantagens das Ferramentas Building Information Modeling – BIM – no panorama do projeto de edificações no Brasil / Samuel Dereste dos Santos. - 2016.
126 f.: il. color.

Tese de Doutorado Apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Paulista, São Paulo, 2016.

Área de Concentração: Gestão de Sistemas de Operação.
Orientador: Prof. Dr. Oduvaldo Vendrametto.

1. Ferramentas BIM. 2. Ferramentas CAD. 3. Produtividade de Projetos. 4. Software. I. Vendrametto, Oduvaldo (orientador). II. Título.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a minha eterna inspiração, meus pais, Inês e Ananias, pelo exemplo de perseverança e coragem frente à vida.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, à Deus, por ter me dado força e perseverança em chegar tão longe.

Ao meu orientador, Professor Doutor Oduvaldo Vendrametto, pelos ensinamentos e ajuda na elaboração desta pesquisa. Seus ensinamentos me mostraram a maneira de realizar boas pesquisas e me fizeram amadurecer muito profissionalmente. Certamente devo ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Unip os conhecimentos específicos da área que me ajudaram na elaboração deste trabalho, e que me ajudaram na publicação de artigos científicos.

Ao Prof. Dr. Miguel León González por todos os anos de convívio e por todo o conhecimento que adquiri desde 2002. Seguramente grande parte da minha formação se deu através desta parceria. Obrigado por ter me inserido nesta equipe, por me ensinar, me fazer perseverar e ir para frente sempre.

Ao Prof. Dr. Tufic Madi Filho, pelos conhecimentos trocados nas bancas de qualificação, permitindo um aprofundamento maior do trabalho e sua abrangência.

Ao Prof. Dr. João Gilberto Mendes dos Reis, meus sinceros agradecimentos por todo o estímulo e conhecimentos trocados durante a realização das Oficinas de Artigos, que permitiu o desenvolvimento dos trabalhos que serviram de base para esta pesquisa. Certamente, sem este esforço, não teria conseguido desenvolver publicações.

Ao Prof. Dr. José Benedito Sacomano, pelos conhecimentos trocados durante o curso e pelos apontamentos realizados durante a qualificação.

Ao Professor Fábio Roberto Vieira da Silva, do campus virtual da Cruzeiro do Sul Educacional, por ter me ajudado no desenvolvimento da aplicação BIM Analysis®®, resultado desta tese.

Aos professores do Programa, Profa. Dra. Irenilza, Prof. Dr. Pedro Luiz, Prof. Dr. Rodrigo e Profa. Dra. Márcia, agradeço aos conhecimentos compartilhados e pelo esforço em sempre ajudar seus alunos nas suas respectivas disciplinas e áreas.

À Carla Caprara Parizi, por toda amizade e suporte durante o processo de desenvolvimento desta pesquisa.

Aos participantes das pesquisas que desenvolvi ao longo destes 4 anos, permitindo a definição dos parâmetros estabelecidos neste trabalho.

À CAPES, Coordenação de Aperfeiçoamento do Pessoal de Ensino Superior, pela bolsa PROSUP concedida, permitindo assim o desenvolvimento desta tese e o meu aprofundamento profissional.

Aos meus amigos, colegas e alunos que me ajudaram indireta ou diretamente neste trabalho, meu muito obrigado.

EPÍGRAFE

“Discipline is the bridge between goals and accomplishment”

(Disciplina é a ponte entre objetivos e a realização)

Jim Rohn

RESUMO

SANTOS, Samuel Dereste dos. **Vantagens das Ferramentas Building Information Modeling – BIM – no panorama do Projeto de Edificações no Brasil**. Páginas: 126. Tese (Engenharia de Produção), Universidade Paulista, São Paulo, 2016.

Os processos de produção dentro da construção civil apresentam, historicamente, diversas limitações que colocam em questão a eficiência, tanto dos processos de projeto, quanto dos processos de produção. Historicamente, o setor apresenta um modelo de produção denominado de autogestionário, no qual prevalecem técnicas manuais de execução e pouco foco nas atividades de projeto, o que gera um produto com problemas e pouca qualidade agregada, além de alto custo. A implantação de ferramentas BIM dentro do cenário da construção civil busca, no quesito projeto e gestão, melhorar o processo de projeto, tornando-o mais eficaz, contribuindo para a melhoria da qualidade do objeto final construído. Porém, tal ação não significa apenas adoção de *software*, mas a mudança de paradigmas dentro da cadeia produtiva da construção civil. O objetivo desta tese foi analisar a eficiência e produtividade das ferramentas *Building Information Modeling* – BIM - no subsetor de edificações no país, buscando levantar seus potenciais e limites. A utilização de tais ferramentas, no âmbito mundial, tem mudado a qualidade dos projetos desenvolvidos, contribuindo para a melhoria do processo produtivo. Para o desenvolvimento da pesquisa, foram realizadas entrevistas em empresas Brasileiras, com o levantamento de variáveis de produtividade atuais. Os resultados obtidos demonstram que, comparativamente, as ferramentas BIM apresentam uma produtividade maior do que as outras soluções, sendo mais eficientes. A utilização destas ferramentas em ambientes acadêmicos, por sua vez, demonstrou-se eficiente e como um novo paradigma de ensino e aprendizagem no cenário do ensino de engenharia. A fim de nortear o entendimento da implantação de ferramentas BIM por pequenas empresas de construção civil, foi desenvolvida uma aplicação web denominada BIM Analysis®, que permitiu, aos usuários, o entendimento dos custos de implantação, ganhos de produtividade e o tempo de retorno dos investimentos realizados. Os resultados de utilização da aplicação foram satisfatórios nos estudos de caso desenvolvidos, demonstrando o potencial da mesma frente ao entendimento das variáveis que fazem parte da implantação BIM.

PALAVRAS-CHAVES: Ferramentas BIM, Ferramentas CAD, Produtividade de Projetos, *software*.

ABSTRACT

SANTOS, Samuel Dereste dos. **Advantages of Building Information Modeling – BIM – tools into Brazil´s Building Project Panorama**. Pages: 126. Thesis (Production Engineering), Paulista University, Sao Paulo, 2016.

The processes of production within the civil construction have, historically, several limitations that call into question the efficiency of both the design processes and the production processes. Historically, the sector presents a production model known as self-management, in which manual execution techniques prevail and little focus on the project activities, which generates a product with problems and little added quality, in addition to high costs. The implementation of BIM tools within the civil construction scenario seeks, in the design and management area, to improve the design process, making it more efficient, contributing to the improvement of the quality of the final constructed object. However, such action does not only mean adopting software, but changing paradigms within the productive chain of construction. The objective of this thesis was to analyze the efficiency and productivity of the Building Information Modeling (BIM) tools in the subsector of buildings in the country, seeking to raise their potentials and limits. The use of such tools, worldwide, has changed the quality of the projects developed, contributing to the improvement of the production process. For the development of the research, interviews were conducted in Brazilian companies, with the survey of current productivity variables. The results show that, comparatively, BIM tools have a higher productivity than other solutions, being more efficient. The use of these tools in academic environments, in turn, has proved to be efficient and as a new teaching and learning paradigm at the engineering teaching scene. In order to guide the understanding of the implementation of BIM tools by small construction companies, a web application called BIM Analysis® was developed, which allowed users to understand implementation costs, productivity gains and Investments. The results of using the application were satisfactory in the developed case studies, showing the potential of the same in the understanding of the variables that are part of the BIM implementation.

KEYWORDS: Tools BIM, CAD Tools, Project Productivity, Software

LISTA DE SIGLAS

AIA – American Institute of Architects (Instituto Americano de Arquitetos)

AEC – Arquitetura, Engenharia e Construção

APMS - Advances in Production and Management Systems (Avanços em sistemas de produção e gerenciamento)

ARQ - Arquiteto

BIM – Building Information Modeling (Modelagem da Informação da Construção)

BIS - Department for Business, Innovation & Skills – (Departamento de Negócios, inovações e habilidades – Reino Unido – UK).

CAD – Computer Aided Design (Desenho assistido por computador)

CAM – Computer Aided Manufacturing (Manufatura assistida por computador)

CGEE – Centro de Gestão e Estudos Estratégicos

ENG - Engenheiro

FDE – Fundo do Desenvolvimento da Educação do Governo do Estado de São Paulo

HVAC - Heating, ventilating, and air conditioning (Aquecimento, ventilação e ar condicionado)

IAI - International Alliance for Interoperability (Aliança internacional de interoperabilidade)

IFC - Industry Foundation Classes (sem tradução)

MIT - Massachusetts Institute of Technology

PAC – Programa de Aceleração do Crescimento

PETROBRAS – Petróleos Brasileiros S/A

PBL - Projet Based Learning (Aprendizagem baseada em projetos)

PC'S - Personal Computer (Computador Pessoal)

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Artigos desenvolvidos 30

Tabela 2 – Organização da tese e correlação dos artigos desenvolvidos 31

Tabela 3 – Organização da norma Brasileira 40

Tabela 4 - Estágios e definições da implantação BIM 45

Tabela 5 – Aplicações de tecnologia BIM 47

Tabela 6 – Principais passos para a implantação BIM 48

Tabela 7 – Classificação BIM proposta pelo BIS 60

Tabela 8 – Classificação por categorias 61

Tabela 9 – Programa de necessidades 65

Tabela 10 – Critérios de análise 67

Tabela 11 - Nota de avaliação dos produtos desenvolvidos por grupos 68

Tabela 12 – Informações iniciais da empresa – Tela 1 71

Tabela 13 – Objetivos da implantação BIM – Tela 2 72

Tabela 14 – Quantidade de projetos desenvolvidos nos últimos 12 meses – Tela 3. 72

Tabela 15 – Tempo gasto no desenvolvimento de projetos – Tela 4 73

Tabela 16 – Demandas de treinamento para implantação BIM – Tela 5 74

Tabela 17 – Custos de *hardware* para implantação BIM – Tela 6 74

Tabela 18 – Síntese dos resultados obtidos na Tela 1 – Custos iniciais 100

Tabela 19 – Síntese dos resultados obtidos na Tela 2 – Investimento 101

Tabela 20 – Síntese dos resultados obtidos na tela 3 – Produção atual 101

Tabela 21 – Síntese dos resultados obtidos na tela 4 – Tempo bruto 102

Tabela 22 – Síntese dos resultados - índices de produtividade 103

Tabela 23 – Síntese dos Resultados – Estimativa de produtividade 103

Tabela 24 – Síntese dos resultados – Custo atual do retrabalho 104

Tabela 25 – Síntese dos resultados – Custos para Implantação BIM 104

Tabela 26 – Síntese dos Resultados – Retorno dos investimentos 105

Tabela 27 – Síntese dos resultados obtidos na Tela 1 – Custos Inicias 106

Tabela 28 – Síntese dos resultados obtidos na Tela 2 – Investimento 106

Tabela 29 – Síntese dos resultados obtidos na tela 3 – Produção atual 107

Tabela 30 – Síntese dos resultados obtidos na tela 4 – Tempo bruto 107

Tabela 31 – Síntese dos resultados - índices de produtividade 108

Tabela 32 – Síntese dos Resultados – Estimativa de produtividade 108

Tabela 33 – Síntese dos resultados – Custo atual do retrabalho 109

Tabela 34 – Síntese dos resultados – Custos para Implantação BIM 109

Tabela 35 – Síntese dos Resultados – Retorno dos investimentos 110

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Taxa % de crescimento - Setores e Construção Civil 20
Figura 2 – Produtividade das indústrias no Brasil 22
Figura 3 - Comparação entre as produtividades 23
Figura 4 - Cenário para atendimento das metas 25
Figura 5 - Custo e etapas de projeto 34
Figura 6 - Gasto mensal x tempo 35
Figura 7 – Diagrama de sistema de projeto unificado 37
Figura 8 – Esquema da maturidade da implantação de sistemas BIM 44
Figura 9 – Modelo proposto pelo AIA 45
Figura 10 – Área de atuação da empresa 50
Figura 11 – Percentual do número de empregados de cada empresa 51
Figura 12 – Percentual do tempo gasto no desenvolvimento de projetos 51
Figura 13 – Percentual hora/projeto em cada tecnologia 52
Figura 14 – Os *softwares* mais citados entre os entrevistados 52
Figura 15 – Tamanho das empresas 54
Figura 16 – Tipos de negócio 54
Figura 17 – Perfil dos entrevistados 55
Figura 18 – Tempo de experiência das empresas 56
Figura 19 – Tempo gasto em ferramentas BIM 56
Figura 20 – Tempo gasto em ferramentas CAD 57
Figura 21 – Perfil da empresa 59
Figura 22 – Segmento da empresa 59
Figura 23 – Classificação BIS 60
Figura 24 – Análise por categorias 61
Figura 25 – Perspectiva no Revit Architecture 66
Figura 26 – Corte humanizado 66
Figura 27 – Notas obtidas por produto 68
Figura 28 – Gastos Iniciais – *Hardware e Software* – Esquema Tela 7 76
Figura 29 – Custo total e percentual liquidado – Esquema Tela 7 76
Figura 30 – Investimentos em *softwares* BIM – Esquema da Tela 8 77
Figura 31 – Produção atual da empresa – Esquema Tela 9 78

Figura 32 – Tempo gasto em Proj e Retr – Arq e Engs – Esquema Tela 10 80

Figura 33 – Tempo gasto em Projetos e Retrabalhos – Estagiários – Esquema Tela 10 80

Figura 34 – Índices de produtividade para Estudos Preliminares, 82

Figura 35 – Índices de produtividade para Projetos Executivos 82

Figura 36 – Estimativa de prod no Cenário BIM – Est Prelimin – Esquema Tela 12 84

Figura 37 – Estimativa de produtividade – Estudos Preliminares – Esquema Tela 12 84

Figura 38 – Custo anual do retrabalho e estimativa no cenário BIM – Esquema Tela 13 86

Figura 39 – Custos para implantação BIM – Esquema Tela 14 87

Figura 40 – Cenário de retorno dos investimentos– Esquema Tela 15 88

Figura 41 – Estrutura de coleta de informações da ferramenta BIM Analysis 89

Figura 42 – Tela de entrada – *Software* BIM Analysis 89

Figura 43 – Tela de gerenciamento das informações – *Software* BIM Analysis 90

Figura 44 – Tela de gerenciamento dos clientes – *Software* BIM Analysis 90

Figura 45 – Tela de endereçamento dos clientes – *Software* BIM Analysis 91

Figura 46 – Tela de endereçamento dos clientes – *Software* BIM Analysis 91

Figura 47 – Tela 1 – *Software* BIM Analysis 92

Figura 48 – Tela 2 – *Software* BIM Analysis 92

Figura 49 – Tela 3 – *Software* BIM Analysis 93

Figura 50 – Tela 4 – *Software* BIM Analysis 94

Figura 51 – Tela 5 – *Software* BIM Analysis 95

Figura 52 – Tela 6 – *Software* BIM Analysis 95

Figura 53 – Tela Resultados – Aba custos iniciais 96

Figura 54 – Tela Resultados – Aba Investimentos –*Software* BIM Analysis 96

Figura 55 – Tela Resultados – Aba Prod Atual –*Software* BIM Analysis 97

Figura 56 – Tela Resultados – Aba Tempo –*Software* BIM Analysis 97

Figura 57 – Tela Resultados – Aba Índices –*Software* BIM Analysis 98

Figura 58 – Tela Resultados – Aba Estimativa –*Software* BIM Analysis 98

Figura 59 – Tela Resultados – Aba custo atual –*Software* BIM Analysis 99

Figura 60 – Tela Resultados – Aba custos implantação –*Software* BIM Analysis 99

Figura 61 – Tela Resultados – Aba retorno do investimento –*Software* BIM Analysis 99

SUMÁRIO

RESUMO ..... **IX**

ABSTRACT ..... **X**

LISTA DE SIGLAS ..... **XI**

LISTA DE TABELAS ..... **XII**

LISTA DE FIGURAS ..... **XIV**

CAPÍTULO 1 - CONSIDERAÇÕES INICIAIS **19**

1.1 - A indústria da construção civil nos últimos 20 anos 19

1.1.1 – Modelo de produção dos edifícios 21

1.1.2 – Modelo de produção dos projetos 23

1.2 – Efeitos da implantação do PAC – Programa de Aceleração do Crescimento no cenário do subsetor de edificações 24

1.3 - Ferramentas disponíveis no mercado para o desenvolvimento de projetos 25

1.3.1 – Ferramentas CAD – *Computer Aided Design* 26

1.3.2 – Ferramentas BIM 27

1.4 – Hipótese da tese 28

1.5 - Objetivos 28

1.5.1 – Objetivo Geral 28

1.5.2 – Objetivos Específicos 28

1.6 - Justificativa 29

1.7 - Metodologia 29

1.8 – Organização do Trabalho 30

CAPITULO 2 – PROCESSO DE PROJETO E AS FERRAMENTAS COMPUTACIONAIS PARA O DESENVOLVIMENTO DE PROJETOS NA ÁREA DA CONSTRUÇÃO CIVIL **33**

2.1 – Organização do capítulo 33

2.2 – O processo de projeto e suas particularidades 33

2.2.1 - Definição 33

2.2.2 – Evolução e Características 33

2.3 – As ferramentas computacionais 35

2.3.1 – As ferramentas CAD 35

2.3.2 – As ferramentas BIM 37

2.3.2.1 – Definição 37

2.3.2.2 – Características 38

2.3.2.3 – Interoperabilidade e troca de informações 41

2.3.2.4 – Mudanças de paradigmas e o sistema BIM 42

2.3.2.5 – Maturidade dos sistemas BIM 43

2.3.2.6 - Mudança da organização e dos objetivos das empresas no contexto BIM 46

CAPÍTULO 3 – PERFIL DE UTILIZAÇÃO E ÍNDICES DE PRODUTIVIDADE DAS FERRAMENTAS DE PROJETO UTILIZADAS NA CONSTRUÇÃO CIVIL 49

3.1 – Organização do Capítulo 49

3.2 - Visão geral das ferramentas de projeto na área da construção civil na região sudeste Brasileira 50

3.2.1 - Problematização 50

3.2.2 – Variáveis levantadas 50

3.2.3 - O tempo gasto no desenvolvimento de projetos 51

3.2.4 - Coeficientes de produtividade 52

3.2.5 – Aspectos relevantes obtidos 53

3.3 - Potencial das ferramentas BIM no cenário da construção civil Brasileira 53

3.3.1 – Problematização 53

3.3.2 - Amostragem 54

3.3.3 – Variáveis analisadas 55

3.3.4 – Perfil de utilização dos usuários 55

3.3.5 - Análise de produtividade entre BIM x CAD 56

3.3.6 – Aspectos relevantes obtidos 57

3.4 – Perfil de utilização de ferramentas BIM no cenário da construção civil Brasileira 58

3.4.1 - Problematização 58

3.4.2 - Amostragem 58

3.4.3 – Variáveis analisadas 59

3.4.3 – Método de análise dos dados 60

3.4.5 - Aspectos relevantes obtidos 62

CAPITULO 4 - A UTILIZAÇÃO DE FERRAMENTAS BIM EM ATIVIDADES DIDÁTICAS63

4.1 – Problematização 63

4.2 - Generalidades 63

4.3 - Estudo de caso 65

4.3.1 - Grupos de trabalho e orientação 65

4.3.2 – Adoção do *software* e acompanhamento 65

4.3.3 - Desenvolvimento da atividade 66

4.3.4 - Critério de análise de projetos 67

4.3.5 - Resultados 67

4.3.6 – Principais aspectos obtidos 69

CAPÍTULO 5 – DESENVOLVIMENTO DE UM *SOFTWARE* VISANDO A IMPLANTAÇÃO DE FERRAMENTAS BIM EM PEQUENAS EMPRESAS DE AEC 70

5.1 – Problematização 70
5.2 – Metodologia 70
5.2.1 - Variáveis de entrada do *software* – INPUT 70
5.2.2 – Variáveis de saída e análise do *software* (OUTPUT) 74
5.2.2.1 – Gasto de implantação inicial – *Hardware* e *Software* CAD – Tela 7 74
5.2.2.2 – Investimentos em *softwares* BIM nas atividades pretendidas – Tela 8 ... 77
5.2.2.3 – Produção atual da empresa – Tela 9 77
5.2.2.4 – Tempo bruto despendido atualmente nas etapas de projeto – Tela 10 78
5.2.2.5 – Índices de produtividade da empresa no cenário atual – Tela 11 80
5.2.2.6 – Estimativa de produtividade no cenário BIM – Tela 12 82
5.2.2.7 – Custo anual do retrabalho e estimativa no cenário BIM – Tela 13 85
5.5.2.8 – Resumo dos custos para implantação BIM – Tela 14 86
5.5.2.9 – Retorno dos investimentos da implantação BIM – Tela 15 87
5.3 – Construção do *Software* 88
5.3.1 - Descrição 88
5.3.2 - Hospedagem 88
5.3.3 – Estrutura da ferramenta 88
5.3.3.1 – Interface do administrador 89
5.3.3.2 – Interface do Cliente 91
5.3.3.3 – Interface de resultados 95
5.3.4 – Estudos de caso e validação da ferramenta 100
5.3.4.1 – Resultados obtidos por questionários e inseridos no *software* - *Offline* 100
5.3.4.3 – Resultados obtidos por respondentes *online* 105
5.3.5 – Aspectos relevantes obtidos 110
CONSIDERAÇÕES FINAIS 112
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 116
ANEXO 1 120
ANEXO 2 121
ANEXO 3 122
ANEXO 4 123
ANEXO 5 124
ANEXO 6 125
ANEXO 7 126

CAPÍTULO 1 - CONSIDERAÇÕES INICIAIS

1.1 - A indústria da construção civil nos últimos 20 anos

A indústria da construção civil é composta por uma complexa cadeia produtiva que abrange setores que englobam desde os insumos utilizados dentro dela até os processos de produção e de projeto. Desta maneira, se faz necessária uma análise mais aprofundada de suas características, a fim de se compreender sua estrutura elementar de funcionamento.

Segundo Mello e Amorim (2009), a cadeia pode ser dividida nos seguintes subsetores:

(i) Subsetor de materiais de construção – responsável pela produção dos diversos insumos utilizados dentro da indústria da construção;

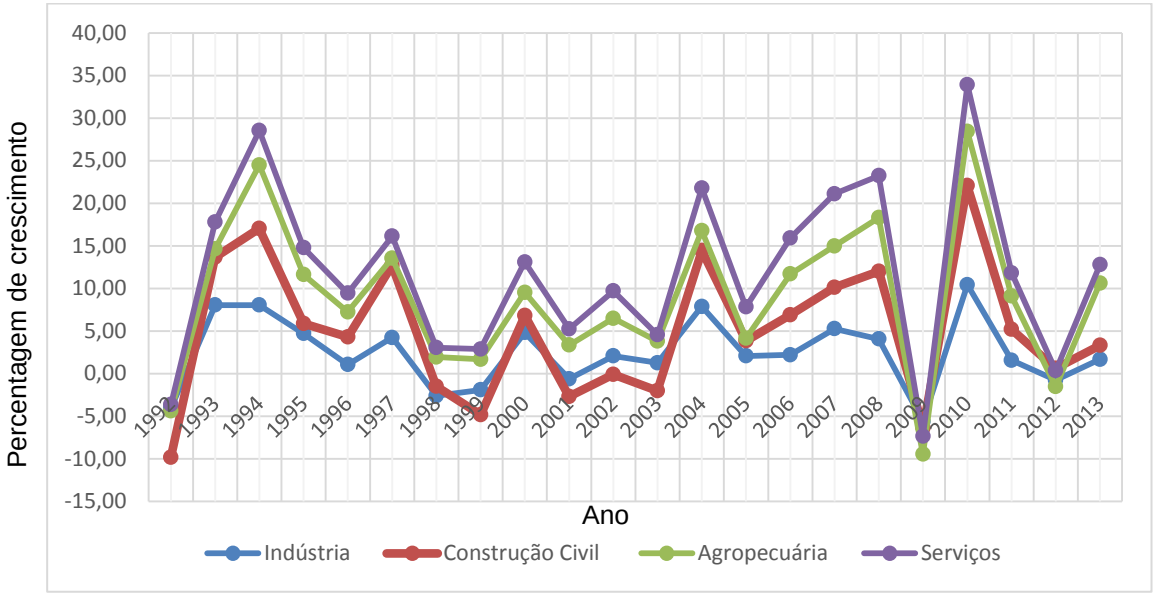
(ii) Subsetor de edificações – responsável pela projeto e produção das edificações de pequeno, médio e grande porte, tanto no âmbito público quanto no privado;

(iii) Subsetor de construção pesada – responsável pelo projeto e produção de obras de arte e elementos de infraestrutura urbana, como estradas de rodagem, ferrovias, hidrovias, aeroportos, pontes, viadutos, dentre outros.

A indústria da construção civil tem importância estratégica para o país devido ao grande potencial para geração de empregos diretos e indiretos. Também é responsável pela geração, ampliação e manutenção da infraestrutura de habitação, saúde, educação e transporte, essenciais para a população e para o crescimento do país em todas as áreas (AVELAR e MONTEIRO, 2007).

O setor tem passado por mudanças advindas do aumento da competitividade, da maior exigência dos clientes em relação aos produtos e serviços adquiridos, e da maior exigência da mão-de-obra em relação às condições de trabalho. É um setor que, historicamente, está alinhado aos períodos de desenvolvimento econômico do país, conforme pode ser verificado na Figura 1, onde é possível vislumbrar que os investimentos em construção civil geram um efeito de desenvolvimento em todas as cadeias produtivas no país.

Figura 1 - Taxa de crescimento dos setores industriais no Brasil, em percentagem



Fonte: Adaptado de CBIC (2014).

Para o desenvolvimento deste trabalho, fez-se um aprofundamento quanto às características do subsetor de edificações, por este englobar o objeto foco deste estudo, que são as edificações residenciais. As principais especificidades deste subsetor, segundo Avelar e Monteiro (2007), são:

1) Elevado efeito multiplicador: Os investimentos realizados geram impactos em diversas cadeias produtivas, fazendo com que se gere grande quantidade de empregos diretos e indiretos;

2) Menor necessidade de investimentos, devido à baixa relação capital / produto: Os produtos gerados neste subsetor possuem baixo valor agregado quando comparado aos produtos de outras indústrias tecnológicas, como a mecânica e aeroespacial, por exemplo;

3) Utilização intensiva de mão-de-obra, incluindo a não qualificada: O subsetor emprega grande quantidade e diversidade de profissionais, desde os mais qualificados, para o projeto e gestão, até os menos qualificados, para os trabalhos de menor complexidade, gerando assim grande impacto econômico frente aos investimentos realizados;

4) Reduzido coeficiente de importação: Grande parte dos produtos gerados possuem pouca/nenhuma importação de tecnologia, o que justifica os baixos investimentos tecnológicos.

1.1.1 – Modelo de produção dos edifícios

Segundo dados do CGEE (2009), no âmbito das edificações, prevalece no país um sistema de produção denominado autogestionário, que se caracteriza pela utilização de métodos e técnicas tradicionais, cujo conhecimento seja universal e não exija habilidades, formação ou qualificação especial. A manutenção de um baixo padrão tecnológico é importante para evitar a necessidade de contratação de pessoal especializado (mão de obra com baixa qualificação), o que tornaria este setor inviável dado as suas condições históricas de funcionamento.

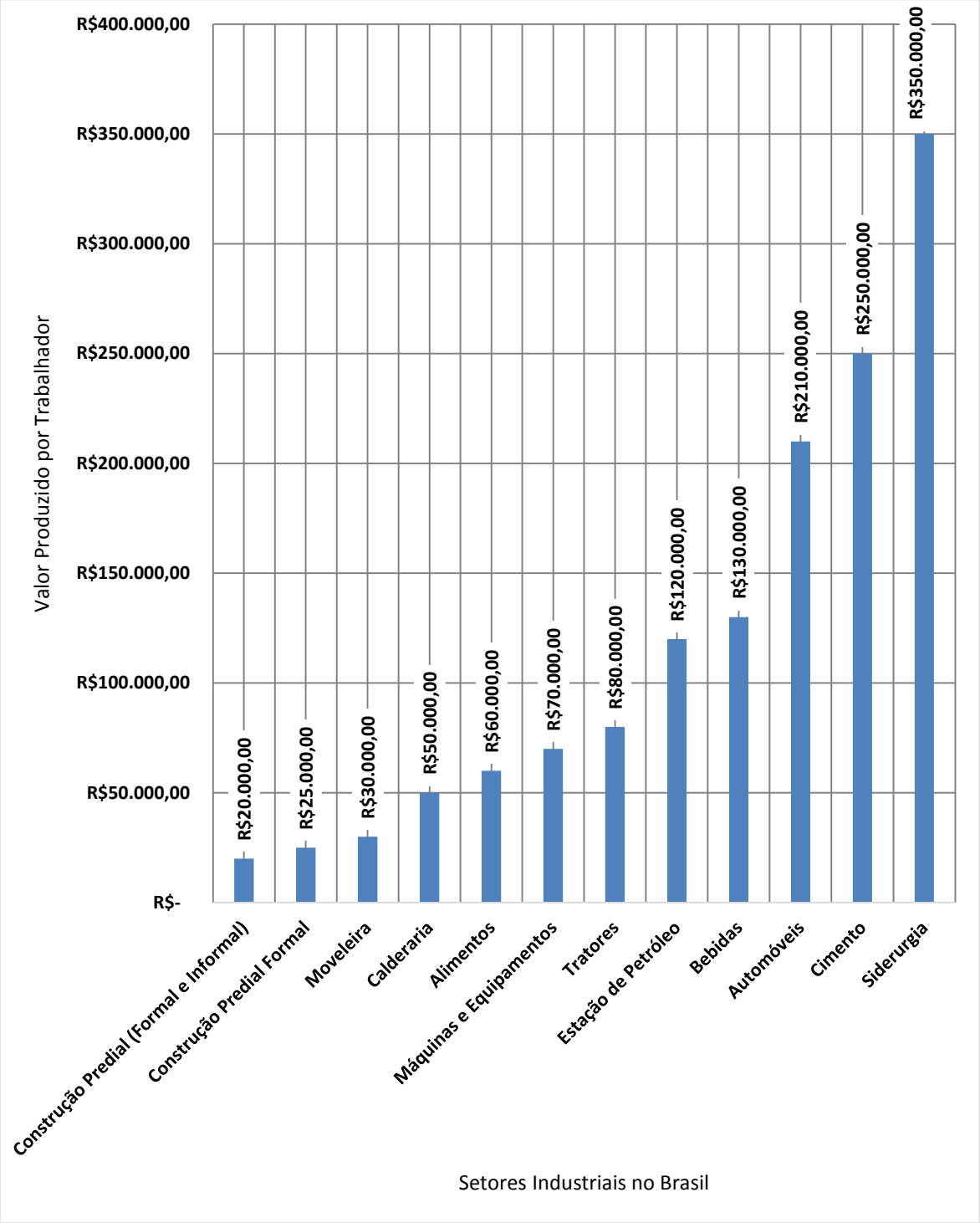
Assim, em grande parte das obras não se conta com projetos técnicos e as decisões sobre o desenvolvimento da obra e do processo produtivo são tomadas a partir de deliberações feitas em campo, sem planejamento prévio. Essa forma de trabalho traz um conjunto de problemas futuros e soluções inadequadas para o terreno ou para o atendimento do programa, gerando vícios dentro do processo produtivo (CGEE, 2009).

A indústria da construção apresenta baixa produtividade, como pode ser verificado na Figura 2, que faz uma comparação entre a produtividade das indústrias de extração de petróleo, siderurgia, caldeiraria, máquinas, automóveis e a construção civil formal. Nota-se que a construção civil é a que apresenta menor índice.

A comparação da produtividade da construção entre Brasil, Europa e Estados Unidos, apontam grandes diferenças. Tal resultado deve - se ao alto grau de racionalização dos processos produtivos presente nos EUA e na Europa. Como no Brasil predominam práticas artesanais, a produtividade fica aquém da atingida nestes países de referência, o que pode ser notado na Figura 3.

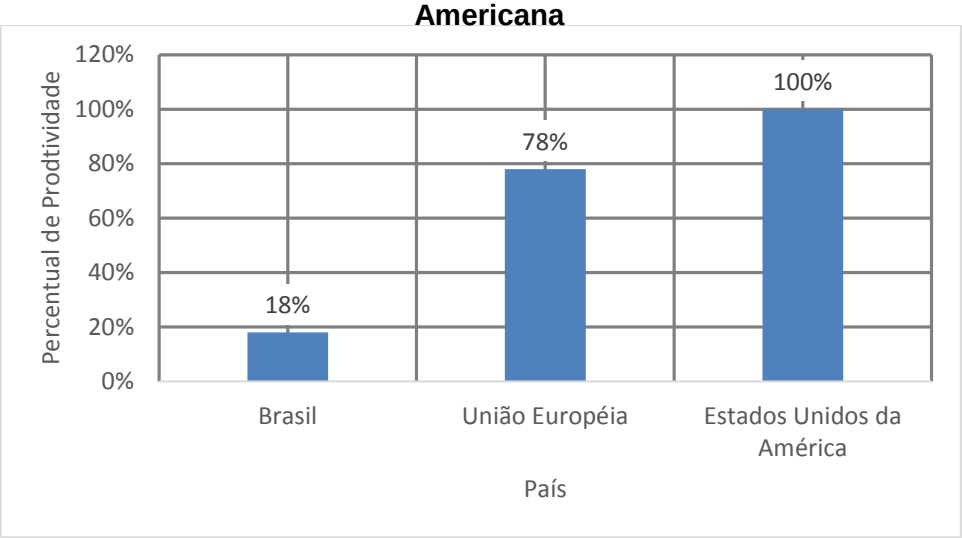
O modelo tecnológico adotado para a produção de edificações no Brasil possui características bastante diversas do modelo adotado em outros países. No país, predominam práticas manuais, onde as diversas etapas de produção do edifício são realizadas no canteiro de obras por diferentes profissionais. A utilização de componentes prontos – racionalizados/pré-fabricados - é bastante tímida ou inexistente. Já em outros países, empregam-se grande quantidade de componentes prontos nas edificações, o que otimiza o processo e diminui as perdas e desperdícios.

Figura 2 – Produtividade das indústrias no Brasil



Fonte: Adaptado de CGEE (2009).

Figura 3- Comparação entre as produtividades da indústria Brasileira, Europeia e Americana



Fonte: Adaptado de CGEE (2009)

Porém, para que haja o emprego de componentes prontos na construção de edificações, é fundamental que os projetos desenvolvidos possuam todas as informações necessárias para a construção, o que não acontece em grande parte das obras, fazendo com que as decisões sejam tomadas em canteiro, o que pode gerar desperdícios e erros.

1.1.2 – Modelo de produção dos projetos

No país, o modelo de produção de projetos possui características peculiares. Por questões culturais, os empreendedores/gestores não enxergam a importância do projeto para a realização da obra, e assim, os profissionais de projeto dispõem de prazos curtos para a realização e gestão dos projetos, e neste contexto, alguns problemas não são resolvidos previamente à construção do edifício.

Segundo Thomaz (2001), o modelo de desenvolvimento de projetos não possui uma matriz unificada. Parte-se do projeto arquitetônico como base, e os diferentes profissionais desenvolvem seus respectivos projetos. Sem ferramentas de integração adequadas, a compatibilização entre projetos de distintas disciplinas (Elétrica, Hidráulica, Estrutura, Execução, entre outras) torna-se difícil e passível de erros, além de ser, muitas vezes, ignoradas pelos gestores/incorporadores.

Tais ações exigem que o profissional de campo faça tal verificação in loco, o que pode gerar erros, aumentar o custo final da edificação, e até mesmo, gerar

patologias. É possível, assim, perceber um gargalo de processo que acarreta problemas ao processo de produção e ao produto final, que é o próprio edifício.

Desta maneira, gera-se uma lacuna qualitativa no processo produtivo, onde o papel do projeto é prever os problemas que ocorrerão durante a execução. Sem um projeto devidamente finalizado, a equipe de campo terá de tomar uma série de decisões que poderão influenciar negativamente na qualidade final do produto e também nas questões de desperdício e falhas.

1.2 – Efeitos da implantação do PAC – Programa de Aceleração do Crescimento no cenário do subsetor de edificações

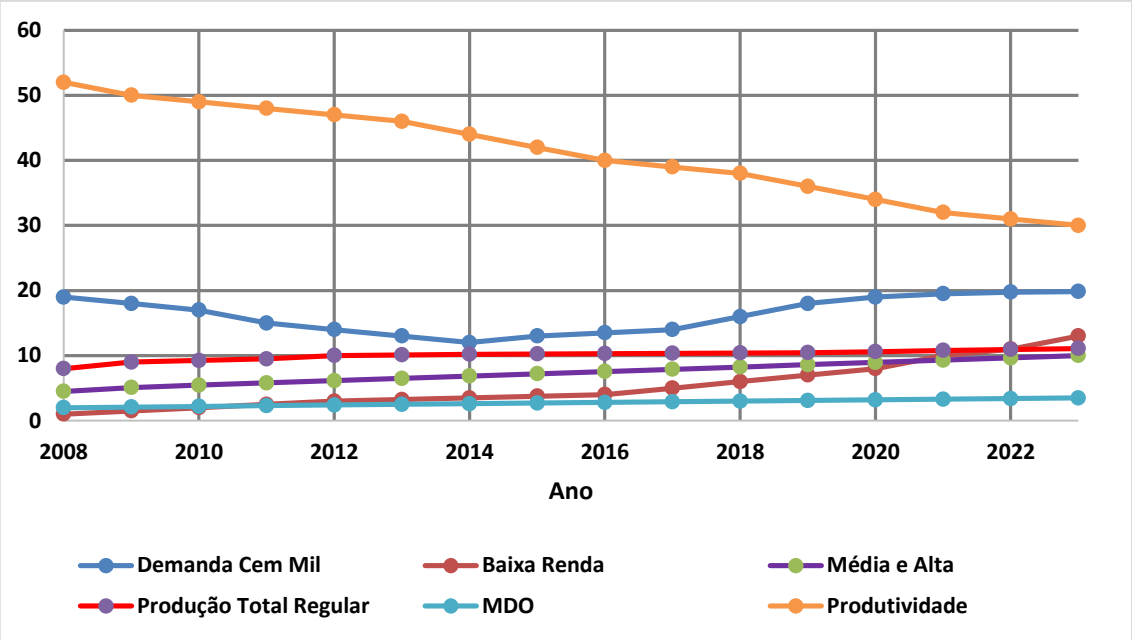
O Programa de Aceleração do Crescimento (PAC), lançado em janeiro de 2007 pelo governo federal veio ao encontro da necessidade de se acelerar, de forma sustentável, o crescimento da economia, até aquele momento, bastante estagnada. A finalidade foi a promoção de investimentos que permitissem a diminuição dos gargalos do crescimento, aumentar a produtividade das empresas, estimular investimentos privados e reduzir as desigualdades regionais. Os investimentos foram divididos em duas partes: a primeira reuniu os investimentos em infraestrutura e a segunda as ações para ampliação do crédito, melhoria do ambiente de investimento e da qualidade do gasto público (MINISTÉRIO DO PLANEJAMENTO, 2014).

No subsetor de edificações, com a injeção de recursos públicos e privados na construção de edificações, o país experimentou um crescimento repentino, e tal demanda gerou a necessidade de profissionais e de insumos. O país enfrentou um “apagão” com falta de equipamentos para obras de médio e grande porte, além de materiais básicos como aço e cimento, tamanho o volume de obras em desenvolvimento.

Porém, ao mesmo tempo, despontaram alguns problemas no cenário produtivo como a falta de mão de obra disponível, dificuldade no cumprimento de cronogramas (tempo de entrega) falta de qualidade das edificações, alta taxa de desperdícios e baixa produtividade, sinalizando que os modelos de projeto e produção então vigentes apresentavam problemas.

O Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (2009), realizou uma análise da produtividade e da demanda (Figura 4) no país naquele momento. Ficou evidente que, frente ao modelo utilizado, o emprego das tecnologias correntes era incompatível com a produção almejada pelo próprio governo federal, a longo prazo.

Figura 4 - Cenário para atendimento das metas



Fonte: Adaptado de CGEE, 2009

Tal fato demonstra que a baixa produtividade possui uma relação bastante próxima com o cenário tecnológico. O gráfico demonstra que os níveis de mão de obra apresentam-se constantes dentro do período estudado, assim, a única maneira de se aumentar a produtividade do setor seria a mudança da matriz tecnológica para que, com a mesma quantidade de mão de obra, se conseguisse atingir aos níveis de produtividade almejados.

1.3 - Ferramentas disponíveis no mercado para o desenvolvimento de projetos

De maneira geral, pode-se entender que para o desenvolvimento de projetos, utilizam-se ferramentas de desenho, cálculo, orçamentação e controle. Inicialmente, os projetos eram desenvolvidos em prancheta, no papel, e a seu desenvolvimento entre diferentes disciplinas era bastante complexo e trabalhoso. Com o advento das ferramentas computacionais, inicia-se a migração do processo de-

senvolvido manualmente para o computador, e surgem diversas ferramentas para a execução dos cálculos, orçamentação e controle do processo. Para o desenvolvimento de projetos, a primeira ferramenta a ser utilizada foi o CAD – *Computer Aided Design* - que será abordado na sequência.

1.3.1 – Ferramentas CAD – *Computer Aided Design*

Bastante populares no mercado mundial e no Brasil, as ferramentas CAD significaram uma revolução no processo de projeto, tornando-o mais produtivo e permitindo o intercâmbio e aproveitamento de informações, transferindo ao computador as informações antes geradas no papel.

Seu início se deu com as primeiras tentativas de transferência dos desenhos desenvolvidos nas pranchetas para o computador, dentro da indústria aeronáutica. A arquitetura da plataforma CAD é vetorial, permitindo o desenvolvimento de objetos em 2D e 3D. Seu desenvolvimento significou, para algumas indústrias, como a mecânica, por exemplo, a possibilidade de integração entre a interface de projeto (CAD) com a de produção CAM – *Computer Aided Manufacturing*.

Porém, especificamente para as edificações, a plataforma CAD apresentou gargalos de difícil superação, por não permitir a integração entre diferentes instâncias de informações, limitadas pelas características de arquitetura da plataforma. Dessa maneira, mesmo que uma equipe inicie o desenvolvimento de um projeto a partir de uma mesma base de arquitetura em CAD, a integração entre as diferentes disciplinas dentro desta plataforma é bastante complexa e pouco produtiva. Assim, os projetistas envolvidos não possuem uma visão global do projeto que está sendo desenvolvido, o que dá margem a erros e incompatibilidades.

Segundo Milingkaas et al (2013), dentro do setor da construção civil, as ferramentas computacionais podem ser entendidas como uma maneira de se integrar diferentes processos produtivos de maneira interativa, permitindo um melhor controle do que é produzido. Assim, as ferramentas CAD, neste cenário, apresentam-se em desvantagem tecnológica, por não permitir esta gestão integrada das informações.

Porém, as ferramentas CAD foram, paulatinamente, evoluindo, também dentro da área da construção civil, e uma das suas variantes é a tecnologia BIM –

Building Information Modeling, especificamente concebida para os projetos de construção civil.

1.3.2 – Ferramentas BIM

As ferramentas BIM surgem com um conceito diferenciado com relação a tecnologia CAD – amplamente utilizada em diversas áreas da engenharia como mecânica, eletrônica, aeronáutica, etc – e passam a atender especificamente os projetistas da área das edificações. Diferente da concepção vetorial das ferramentas CAD, as ferramentas BIM possuem matriz paramétrica. Assim um objeto concebido dentro desta plataforma é dotado de um nível de informações e parâmetros muito superior à capacidade das ferramentas CAD.

Desta maneira, inicia-se a possibilidade de desenvolvimento de projetos de maneira simultânea, e assim, com o desenvolvimento de diferentes disciplinas, ou instâncias – simultaneamente, é possível que se prevejam diversos problemas anteriormente à construção. Tal arquitetura permite que, sob um mesmo arquivo, sejam desenvolvidas diferentes disciplinas, como instalações, estrutura, alvenaria, fundações, etc, diminuindo significativamente os trabalhos de compatibilização de projetos. As ferramentas BIM não significam apenas uma família de novos *softwares* para a área da construção civil, mas sim, uma nova metodologia de desenvolvimento de projetos.

No Brasil, a tecnologia ganha cada vez maior visibilidade nos diversos setores econômicos. O Exército Brasileiro está implantando tecnologias BIM visando otimizar o fluxo de projeto e a produção de edificações militares em todo o território nacional. O FDE – Fundo do Desenvolvimento da Educação do Governo do Estado de São Paulo – está desenvolvendo um banco de dados BIM para a licitação do projeto de escolas públicas sob este formato. Por outro lado, construtoras e incorporadoras paulistas, estão investindo cada vez mais no sistema buscando o benefício da integração do processo de construção (SINDUSCON, 2012).

Experiências de implantação da metodologia BIM no mundo estão significando a remodelagem do processo de concepção de projetos e execução e gestão das informações em canteiro, tornando o alinhamento das informações mais efetivo fazendo com que a qualidade final das edificações possua maior valor agregado. Tanto obras particulares quanto públicas estão exigindo que os documentos sejam gerados em modelos unificados, a fim de se compatibilizar as informações e evitar incoerências e erros de execução.

Por sua vez, iniciou-se a inserção de ferramentas BIM dentro dos cursos de graduação no sentido de se familiarizar os estudantes a estas novas tecnologias. No ensino e desenvolvimento de projetos, tal utilização pode resultar em projetos mais completos e com a possibilidade de desenvolvimento colaborativo, permitindo uma aprendizagem mais efetiva e tangente à prática profissional. Além disso, o formato de arquivo permite que um modelo possa ser desenvolvido e analisado sob diversos aspectos, como Instalações Prediais (HVAC), Estruturas, Conforto Ambiental, dentre outros, permitindo um entendimento mais efetivo sobre as diversas informações que irão compor o desenvolvimento de um projeto.

Desta maneira, o BIM torna-se mais do que a troca de um *software*, e sim, uma mudança significativa nos modelos de concepção, gestão e operação das informações dentro dos processos de produção da área da construção. A integração das etapas é uma estratégia que pode melhorar a qualidade dos projetos desenvolvidos e a melhoria da qualidade dos produtos desenvolvidos, podendo assim contribuir para a melhoria do cenário produtivo da construção civil Brasileira.

1.4 – Hipótese da tese

As ferramentas BIM apresentam maior eficiência no desenvolvimento de projetos no subsetor de edificações no Brasil quando comparadas às atuais ferramentas utilizadas, permitindo um melhor controle do processo tanto em atividades acadêmicas quanto nas empresas de Arquitetura, Engenharia e Construção.

1.5 - Objetivos

Para responder à hipótese levantada, os objetivos são:

1.5.1 – Objetivo Geral

Analisar a eficiência e produtividade das ferramentas BIM no subsetor de edificações no país, buscando levantar seus potenciais e limites.

1.5.2 – Objetivos Específicos

a) Verificar a eficiência e produtividade das ferramentas de informática utilizadas para o desenvolvimento de projetos no subsetor de edificações, junto as empresas de Arquitetura, Engenharia e Construção;
b) Analisar o desempenho das ferramentas BIM frente às ferramentas correntes no desenvolvimento de projeto dentro de ambientes acadêmicos – sala de aula – de um curso de graduação em Engenharia.

c) Desenvolver um *software* de tomada de decisão que permita, a um pequeno escritório ou empresa de construção civil, verificar as demandas necessárias para a implantação de ferramentas BIM em seus processos de projetos.

1.6 - Justificativa

A utilização de ferramentas de informática mais eficientes, nos escritórios de projeto, pode diminuir os erros de compatibilização do projeto, contribuindo para a melhoria do cenário produtivo, permitindo a execução de projetos que resultem em menor desperdício e maior eficiência. Porém, sua implantação deve atingir também o meio acadêmico, visando que o aluno de graduação esteja pronto para o entendimento de ações interdisciplinares no desenvolvimento de projetos de edificações. Já a elaboração de um *software* de tomada de decisão pode permitir, por sua vez, aos novos usuários de BIM, vislumbrarem as demandas a serem superadas visando a implantação de ferramentas em seus processos de projeto, contribuindo para a correta tomada de decisão e a melhoria dos processos de projeto e produção, consecutivamente.

1.7 - Metodologia

Para se atingir aos objetivos propostos, foram empregados os seguintes procedimentos:

a) Revisão bibliográfica

A revisão bibliográfica consistiu no levantamento dos trabalhos mais relevantes sobre o tema, buscando compreender o estado da arte do tema estudado. Foram levantadas informações em bases de dados reconhecidas internacionalmente.

b) Pesquisa de mercado

Foi aplicado um questionário em empresas que desenvolvem projetos na região sudeste do Brasil, buscando compreender numericamente a produtividade das ferramentas empregadas, seus principais desafios e perspectivas.

c) Desenvolvimento de projeto em plataforma BIM no ambiente acadêmico

Foi realizada uma atividade de projeto, em equipes, dentro de um curso de graduação em Engenharia Civil, buscando compreender as diferenças na implantação de diferentes ferramentas de informática no processo de ensino e aprendi-

zagem de projetos, e de que maneira que as tecnologias influenciam neste processo.

d) **Desenvolvimento de um *software* de tomada de decisão para ferramentas BIM**

A fim de contribuir para o desenvolvimento das ferramentas BIM no cenário brasileiro, foi desenvolvido um *software* que permite a uma empresa de AEC - Arquitetura, Engenharia e Construção, estimar os custos relativos e as variáveis que representam as ferramentas BIM.

1.8 – Organização do Trabalho

A fim de atingir aos objetivos propostos, o trabalho pautou-se, inicialmente, no desenvolvimento de 5 artigos científicos (artigos 1, 2, 3, 5 e 6). Nesta estratégia, buscou-se compreender as diferentes partes do tema de estudo. Como aprofundamento e resultado efetivo do trabalho, foi proposto um artigo no formato de revista (artigo 4). A lista completa dos artigos desenvolvidos encontra-se enumerada na Tabela 1. A organização da tese e dos capítulos encontra-se na Tabela 2, onde foi assinalada a correlação entre os artigos e os respectivos capítulos.

Tabela 1 – Artigos desenvolvidos

ARTIGO	TÍTULO	LOCAL DE PUBLICAÇÃO	LOC
1	Ferramentas Computacionais para o Projeto de Edificações no Brasil	WCSEIT Porto 2013	Anexo 1
2	Visão geral das ferramentas de projeto na área da construção civil na região sudeste Brasileira	APMS Ajaccio 2014	Anexo 2
3	Eficiência de Ferramentas de Informática no Desenvolvimento de Atividades de PBL	APMS Ajaccio 2014	Anexo 3
4	Ensino de projeto na área da EC com a utilização de ferramentas BIM: inovação e desafios	Revista Production – Submetido em Out/16.	Anexo 4
5	Potencial das ferramentas BIM no cenario da construção civil brasileira	APMS Japão 2015	Anexo 5
6	Perfil de Utilização de Ferramentas BIM no cenário da construção civil Brasileira	APMS Japão 2015	Anexo 6
SOFTW	Desenvolvimento de um *software* visando a implantação BIM em pequenas empresas de AEC	Solicitado Registro do *Software* junto ao INPI sob o processo **BR 51 2016 001719 8**	-

Tabela 2 – Organização da tese e correlação dos artigos desenvolvidos

CAP	TÍTULO DO CAPÍTULO	OBJETIVO DO CAPÍTULO	ARTIGO 1	ARTIGO 2	ARTIGO 3	ARTIGO 4	ARTIGO 5	ARTIGO 6	SOFTWARE
			Ferramentas Computacionais para o Projeto de Edificações no Brasil	Visão geral das ferramentas de projeto na área da construção civil na região sudeste Brasileira	Eficiência de Ferramentas de Informática no Desenvolvimento de Atividades de PBL	Ensino de projeto na área da EC com a utilização de ferramentas BIM: inovação e desafios	Potencial das ferramentas BIM no cenario da construção civil Brasileira	Perfil de Utilização de Ferramentas BIM no cenário da construção civil Brasileira	Desenvolvimento de um *software* visando a implantação BIM em pequenas empresas de AEC
1	**Considerações Iniciais**	Introduzir a tese, objetivos gerais, específicos, metologia e organização do trabalho							
2	**As ferramentas computacionais para o desenvolvimento de projetos na área da construção civil**	Explorar as características das ferramentas de informática dentro da área da construção civil	X	X	X	X	X	X	X
3	**Indicadores de produtividade dos *softwares* utilizados no desenvolvimento de projetos no Brasil**	Caracterizar, numericamente, as ferramentas de projeto mais comuns disponíveis no mercado		X			X	X	
4	**A utilização de ferramentas BIM em atividades didáticas**	Analisar o desenvolvimento dos *software*s de projeto no ambiente acadêmico			X	X			
5	**Desenvolvimento de um *software* visando a implantação BIM em pequenas empresas de AEC**	Caracterizar as variáveis de implantação de Ferramentas BIM em pequenas empresas de AEC							X
Discussão									
Considerações Finais									
Referências Bibliográficas									

Com relação a organização, no primeiro capítulo, foram definidos a base conceitual para o desenvolvimento da tese, definição dos objetivos gerais e específicos e a estratégia de organização do trabalho.

No segundo capítulo, visando compreender o universo de ferramentas utilizadas para o desenvolvimento de projetos na área da construção civil, foram condensados os principais conceitos teóricos abordados nos artigos desenvolvidos. Naturalmente, cada artigo desenvolvido, ao longo do trabalho, teve um objetivo específico, e, desta maneira, possuía uma abordagem teórica específica. Assim, a estratégia de agrupamento dos conceitos teóricos em um único capítulo permitiu o adensamento dos principais conceitos utilizados no desenvolvimento e consolidação da tese.

No terceiro capítulo concentram-se os resultados de três artigos cujo objetivo comum foi compreender, numericamente, a eficiência das ferramentas de projeto utilizadas no Brasil, sob diferentes aspectos. Nesta parte da tese concentra-se grande parte dos resultados e da contribuição teórica do trabalho para a área do conhecimento.

No quarto capítulo, concentram-se os resultados práticos da utilização de ferramentas BIM em atividades didáticas em um curso de engenharia, para atender a um dos objetivos específicos propostos.

E por fim, no quinto capítulo, concentram-se os resultados do desenvolvimento de uma ferramenta de informática (*software*), cuja lógica e métrica estão devidamente expostos neste capítulo.

Tal estratégia de organização do trabalho foi adotada visando condensar todos os conteúdos estudados e desenvolvidos no corpo da tese, permitindo ao leitor compreender o universo estudado sem a necessidade de consultar aos artigos desenvolvidos. Os artigos seguem no final do trabalho apenas para consulta.

CAPITULO 2 – PROCESSO DE PROJETO E AS FERRAMENTAS COMPUTACIONAIS PARA O DESENVOLVIMENTO DE PROJETOS NA ÁREA DA CONSTRUÇÃO CIVIL

2.1 – Organização do capítulo

O desenvolvimento de projeto na área da construção civil possui características peculiares quanto ao processo e softwares empregados. Buscando compreender estas características, este capítulo objetiva sintetizar os principais conceitos quanto ao processo de projeto e quais as ferramentas de informática mais empregadas.

Os conceitos aqui apontados foram explorados nos artigos que compõem a tese e são importantes para o entendimento dos estudos de caso que se desenrolam nos capítulos seguintes. Assim, o capítulo aborda o conceito do processo de projeto dentro da área da construção civil, com suas peculiaridades, e explora o papel das ferramentas de informática neste cenário.

2.2 – O processo de projeto e suas particularidades

O processo de projeto é de vital importância para a produção de qualquer produto com qualidade agregada. Desta maneira, faz-se necessária a análise de sua importância dentro do contexto da construção civil.

2.2.1 - Definição

A palavra projeto pode ser definida como a coletânea qualitativa e quantitativa dos atributos técnicos, econômicos e financeiros de um serviço ou obra de engenharia e arquitetura, com base em dados, elementos, informações, estudos, discriminações técnicas, cálculos, desenhos, normas, projeções e disposições especiais. Desta maneira, sua função é parametrizar, através do desenho, o que será construído de maneira real (ABNT, 1977).

2.2.2 – Evolução e Características

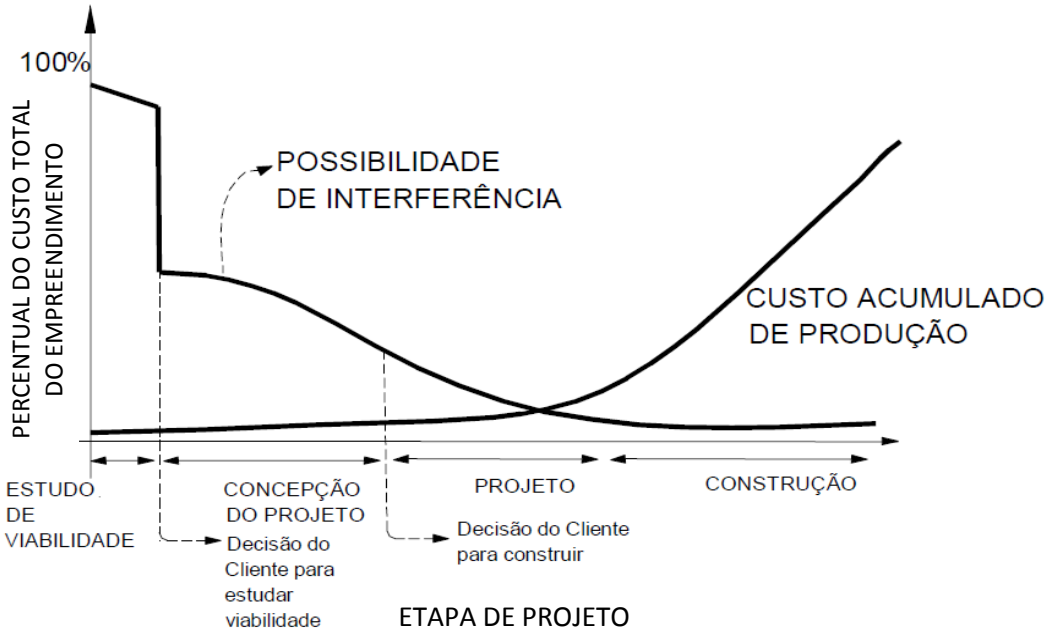
O projeto vem sofrendo uma evolução conceitual significativa, que não só amplia o seu escopo como reposiciona o seu papel no contexto do processo construtivo de edificações. A preocupação com o projeto tornou-se maior por ser a elaboração do projeto considerada uma das principais fontes de melhoria de desempenho do produto edificação, de diminuição de custos de produção e de

ocorrência de falhas tanto no produto quanto no processo, gerando a otimização das atividades de execução.

Trata-se assim da fase onde a tomada de decisão repercute nos custos, na velocidade da execução e na qualidade do empreendimento. Se as decisões corretas não forem tomadas nesta fase, diversos problemas surgem e podem ser resolvidos por distintos profissionais, que não necessariamente sejam qualificados, contribuindo para o aumento dos custos e perdas (FRANCO, 1992; PERALTA, 2002).

Os avanços no desenvolvimento de projeto foram motivados por diversos fatores ambientais de mercado na busca de uma maior excelência em custos que pudessem tornar as empresas mais atrativas aos clientes, que por sua vez estão mais exigentes. Pode-se observar na Figura 5 a importância das fases iniciais do empreendimento (estudo de viabilidade, concepção do projeto e conclusão do projeto) na qual, apesar do baixo investimento inicial de recursos, há grande possibilidade de melhoria do processo e a redução da incidência de falhas, permitindo a redução de custos.

Figura 5 - Custo e etapas de projeto



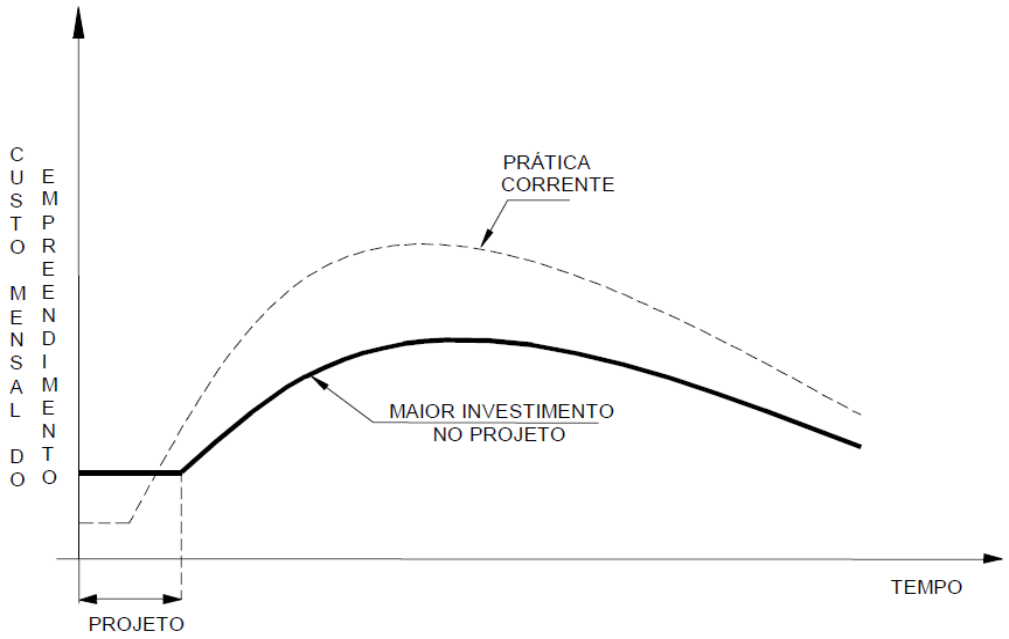
Fonte: Adaptado de Peralta (2002)

De acordo com Barros (1996), alguns empreendedores no Brasil entendem que o projeto é um ônus dentro do sistema produtivo, pois grande parte dos empreendimentos se inicia na captação de recursos para a obra a partir do seu lançamento (quando se trata de edifícios residenciais). Assim, para o empreendedor,

o projeto é visto como mera despesa, e assim, grande parte dos problemas que precisariam ser resolvidos no projeto acabam sendo solucionados pela equipe de produção.

Segundo Peralta (2002), o maior investimento nas etapas de projeto (Figura. 6) permite que os gastos/custos mensais na produção diminuam consideravelmente pelo maior controle das variáveis e por grande parte dos problemas e compatibilizações já terem sido resolvidos previamente.

Figura 6 - Gasto mensal x tempo



Fonte: Peralta (2002)

2.3 – As ferramentas computacionais

Partindo da hipótese de que o projeto é a parametrização do que será construído, as informações que acercam tal processo precisam realizar conexões a fim de que não haja perdas de informações ou incongruências de dados. Assim, a utilização de ferramentas de informática no processo corrobora para que este fluxo de informações possa acontecer de maneira automática, diminuindo a possibilidade de ocorrência de erros ou falhas.

2.3.1 – As ferramentas CAD

As primeiras aplicações de computadores para auxiliar as etapas de engenharia tiveram início na década de 1950, quando o Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT) iniciou a discussão sobre a tecnologia CAD. Os sistemas CAD

desta geração se limitavam à descrição de entidades geométricas bidimensionais, criação e a manipulação de desenhos em terminais gráficos monocromáticos. Segundo Souza e Coelho (2003), nesta época estes sistemas CAD já propiciavam várias vantagens, tais como:

-Possibilidade de envio e recebimento de desenhos por meios eletrônicos;

-Melhor gerenciamento dos desenhos e informações;

-Precisão no dimensionamento;

-Maior rapidez na recuperação, modificação ou atualização de desenhos.

Durante os anos de 1960 a 1980, a utilização de sistemas CAD foi limitada à aplicação em grandes empresas, como aeroespacial e automobilística, pelos altos custos envolvidos, desde *software/hardware* até a qualificação da mão de obra, que requeria usuários com maior grau de instrução. Porém, ao final da década de 90, com o desenvolvimento do sistema operacional *Windows*, bastante robusto para aplicações em computadores, houve a migração das empresas que desenvolviam seus sistemas em UNIX para o *Window*s®. Este fato reduziu o custo de *hardware* e também a necessidade de usuários altamente especializados pela facilidade de interação do padrão *Windows*®.

Nestas primeiras ferramentas CAD, a construção dos elementos era resultado da junção de entidades geométricas como linhas, arcos e curvas que, associadas, consolidavam a linguagem do projeto. Assim, tratou-se da transferência direta do desenho executado manualmente, na prancheta, para o computador.

Para os escritórios de projeto no Brasil, foi possível notar a partir de 1995, com a popularização do acesso a microcomputadores, a migração paulatina dos processos de projeto da prancheta para o computador, tornando o processo mais otimizado e permitindo uma maior integração dos processos, quando comparada ao processo anterior. Porém, vale ressaltar que o acesso à internet nesta fase ainda era bastante restrito, e nem todos os profissionais tinham acesso a este requisito. Tal fato fez com que o formato *.dwg, interface de troca de informações do então AutoCAD®, o mais popular de todos os *software*s CAD, tivesse um fluxo restrito dentro das redes dos escritórios, e não atingisse colaboradores externos (SOUZA e COELHO, 2003).

Porém, o uso de recursos computacionais para a realização de projetos de construção civil tem ficado restrito a desenhos ou tarefas específicas, sem interrelacionamento eficiente e automático. Além disso, o uso descoordenado da in-

formática tem subtilizado o seu potencial, restringindo os sistemas CAD a simples ferramentas de desenho (PERALTA, 2002).

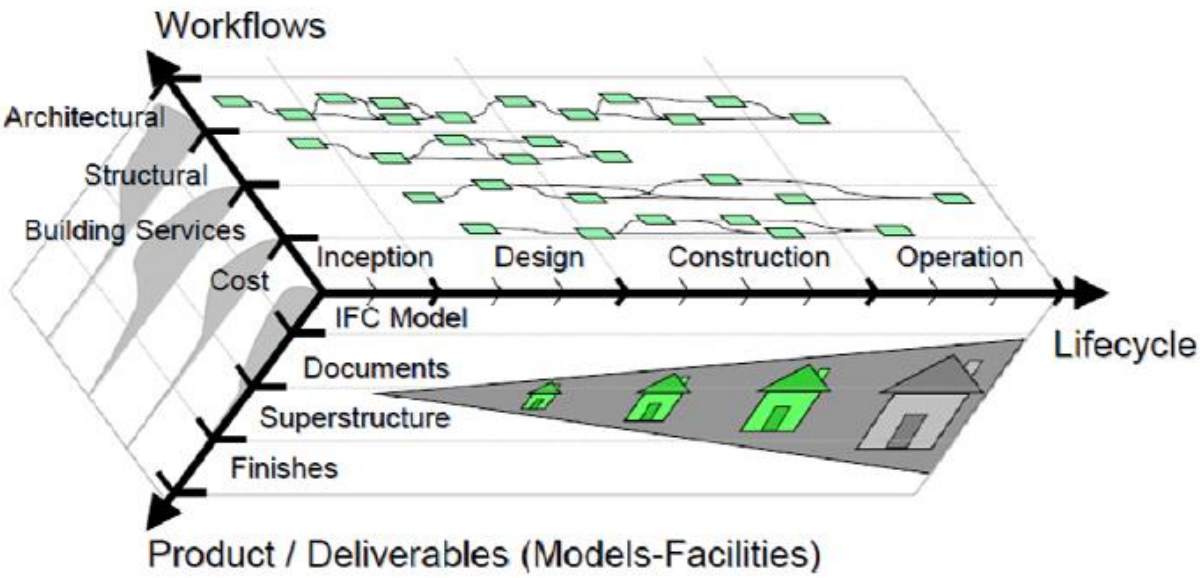
As empresas do setor da construção civil, apesar dos investimentos em sistemas e pessoal, não têm conseguido extrair o retorno desejado com a aplicação das ferramentas CAD, principalmente pela falta de uma cultura implantada e pela ausência de pessoal habilitado. Constata-se que os sistemas CAD estão restritos às áreas técnicas e/ou isolados em outros sistemas. Em geral, grande parte das empresas adquire sistemas CAD apenas para desenho quando o cenário ideal seria o investimento em sistemas como parte de soluções globais de engenharia.

2.3.2 – As ferramentas BIM

2.3.2.1 – Definição

Segundo Migilinskas et al (2013), a sigla BIM descreve diferentes objetos e ainda não possui uma definição amplamente aceita. Os conceitos iniciais do BIM remontam às primeiras tentativas de otimização das informações dentro das plataformas CAD. Trata-se de um modelo tridimensional enriquecido pela inteligência adicional (informações associadas com gráficos ou parâmetros). A base desta tecnologia (Figura 7) é constituída pelas informações gráficas do modelo, que abrange a construção do modelo geométrico, suas características físicas, propriedades, nomes e peculiaridades funcionais de seus componentes.

Figura 7 – Diagrama de sistema de projeto unificado



Fonte: Migilinskas et al (2013)

As ferramentas BIM envolvem a modelagem das informações que cercam a produção de uma edificação através da criação de um modelo digital que integra todas as interfaces que compõem um edifício, abrangendo todo o ciclo de vida da edificação, que se inicia no projeto, passa pela execução, uso, readaptação e demolição.

Este modelo permite a redução de erros de projeto e aumenta a produtividade da indústria da construção, porque está sendo usado não apenas um *software*, mas uma família de ferramentas que, de uma forma integrada, resultam em um modelo integrado que têm, no interior, todos os diferentes tipos de informação conjugados em um mesmo modelo. Assim, o BIM proporciona um novo paradigma para o desenvolvimento de projetos e gerenciamento de construção de arquitetura, engenharia e a indústria da construção (MIETTINEN e PAAVOLA, 2014).

2.3.2.2 – Características

Os sistemas BIM identificam os elementos de construção (paredes, lajes, janelas, portas e escadas) por seus atributos (funções, estruturas, utilização, dentre outros) utilizando a tecnologia paramétrica, e reflete nas alterações das informações na edificação, reconhecendo as relações entre esses atributos. Assim, as características dos elementos de construção e das suas interfaces podem ser analisadas, o que permite a tomada de decisão de maneira rápida. A análise permite a conjugação de diversas informações como quantidade de materiais, custos, prazos e relação com o meio ambiente (SONG et al., 2012).

A utilização de ferramentas BIM pode proporcionar quantificação precisa e, consequentemente, reduzir a variabilidade no processo de orçamento, aumentando a sua velocidade e permitindo que sejam exploradas diversas alternativas de projeto, sem que haja a sobrecarga das demais atividades. A parametrização garante que todos os desenhos e documentações (plantas, cortes e detalhes) possam ser automaticamente atualizados. Tal característica permite que a análise dos custos se estenda a todas as fases do empreendimento, apoiando o processo de decisão (CICHINELLI, 2009).

O projeto e construção de uma edificação é o resultado do gerenciamento de diferentes recursos (materiais, insumos, mão-de-obra, contratos, equipamentos e capital) que podem estar sujeitos a limitações e restrições. As informações sobre os recursos são fundamentais para o controle do projeto e o sucesso do planejamento depende da eficácia do modelo computacional adotado. O planeja-

mento não envolve apenas a dimensão tempo, mas também a estimativa de custo para a execução das atividades no tempo programado. Enquanto a fase de planejamento contempla o processo de decisão, etapa em que são definidos os programas, as metas, os objetivos a serem atingidos e os resultados desejados, o orçamento considera os insumos e os custos atribuídos aos processos e aos produtos da empresa (SANTOS et al., 2009).

Quando uma empresa implementa soluções BIM, há um impacto substancial em todas as fases de projeto. Há um aumento na colaboração das partes interessadas através de diferentes etapas de desenvolvimento do projeto. No entanto, é necessária uma mudança nos processos de negócio, e não apenas na tecnologia, pois há uma mudança significativa nos fluxos, que precisam ser readequados frente ao modelo anteriormente utilizado (EARDIE et al., 2013).

No final, com o BIM, é possível ter uma forma mais precisa de trabalho, com a redução de resíduos e perdas diversas (materiais, recursos, horas-trabalho, etc.). Além disso, o trabalho em 3 dimensões permite um melhor desenvolvimento de projeto. Porém também é necessário a utilização de protocolos de segurança para gestão das informações, a fim de garantir sua integridade (EARDIE et al., 2013).

No Brasil, visando aumentar a competitividade e melhorar a produtividade através das ferramentas de Tecnologia da Informação, em 2009, o então Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior - MDIC - estabeleceu uma agenda de ações denominada Política de Desenvolvimento Produtivo - PDP - setorial da Construção Civil. Surge como base desta agenda a implantação de ferramentas BIM nos processos produtivos visando a modernização do processo produtivo da área da construção civil (SILVA e AMORIM, 2011).

Analisando o cenário do setor àquela época, o MDIC destacou a importância da definição de um padrão nacional e de um sistema de classificação de componentes da construção, tendo em vista a necessidade de suprir esta lacuna de falta de padrões de referência nacionais para os arquivos BIM. Tal padronização não existia no mercado nacional, e interferia diretamente na qualidade e nos projetos desenvolvidos até então.

Os trabalhos de elaboração da norma foram capitaneados pela Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, de forma a organizar o plano de ação de forma a atender as demandas. Para tanto, foi criada a Comissão de Estudo Espe-

cial 134, reunindo agentes fornecedores, consumidores e neutros do setor de AEC (público e privado), passando a ter como objetivos normativos a simplificação, voluntariedade, atualização, representatividade, paridade, transparência e consenso de forma a conferir credibilidade a todo o processo de elaboração da normativa BIM. Para o desenvolvimento da norma, foram utilizadas as referências internacionais da norma ISO/PAS 12.006-2, dividindo a estrutura em seis níveis básicos de classificação, conforme Tabela 3 (SILVA e AMORIM, 2011).

Tabela 3 – Organização da norma Brasileira de classificação das informações BIM nos processos de construção civil

Número	**Nome**	**Data de Publicação**	**Descrição**
15965-1	Parte 1 - Terminologia	14/08/2011	Esta Norma define a terminologia, os princípios do sistema de classificação e os grupos de classificação para o planejamento, projeto, gerenciamento, obra, operação e manutenção de empreendimentos da construção civil.
15965-2	Parte 2 – Características dos Objetos de Construção	10/08/2012	Esta parte da ABNT NBR 15965 define as terminologias, o sistema de classificação e os grupos de classificação relativos às características dos objetos da construção. O sistema de classificação se aplica ao planejamento, projeto, obra, operação e manutenção de empreendimentos da construção civil.
15965-3	Parte 3 – Processos de Construção	16/12/2014	Esta parte da ABNT NBR 15965 tem por objetivo apresentar a estrutura de classificação que define os processos da construção, para aplicação na tecnologia de modelagem da informação da construção, pela indústria de Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC).
15965-4	Parte 4 – Recursos de Construção		Em Desenvolvimento
15965-5	Parte 5 – Resultados de		Em Desenvolvimento

	Construção		
15965-6	Parte 6 – Unidades de Construção		Em Desenvolvimento
15965-7	Parte 7 – Informação da Construção	01/12/2015	Esta parte da ABNT NBR 15965 apresenta a estrutura de classificação que define as informações (ou dados referenciados e utilizados durante o processo de criação e manutenção de um objeto construído) para aplicação na tecnologia de modelagem da informação da construção, pela indústria de Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC).

Fonte: http://www.abnt.org.br acesso em 14/03/16.

Das 7 partes propostas, 4 já foram organizadas e consultadas publicamente para sua devida efetivação (Partes 1, 2, 3 e 7). As partes 4, 5 e 6 estão sendo discutidas para sua devida definição junto aos profissionais e empresas da área da construção. A criação das normas está alinhada as demandas de alguns órgãos públicos brasileiros que estão iniciando a solicitação de projetos em plataforma BIM. O FDE – Fundo do Desenvolvimento da Educação do governo do estado de São Paulo – está desenvolvendo uma regulamentação para que, futuramente, todos os projetos submetidos ao órgão sejam elaborados em plataforma BIM. A Petrobras – Petróleos Brasileiros S/A – também está adotando a padronização BIM para seus projetos de construção civil (NAKAMURA, 2016).

2.3.2.3 – Interoperabilidade e troca de informações

Dentro de um sistema BIM, existe a interação entre distintos profissionais que fazem interferências em uma edificação ao longo do seu ciclo de vida. Desta maneira, é necessária a integração entre distintos *software*s para que isto ocorra. Sendo assim, a interoperabilidade é um conceito importante, e se torna a condição básica para que os modelos conversem e interajam entre si. Define-se interoperabilidade como a capacidade de integração entre diferentes softwares, permitindo que haja a troca de informações em diferentes instâncias. Em 1994 foi criada a *International Alliance for Interoperability* (IAI), que em 2005 se transformou em *Building Smart*. Este é o grupo técnico responsável pelo desenvolvimento do IFC (*Industry Foundation Classes*). O IFC é um formato de arquivo de dados vol-

tado para o objeto, baseado na definição de classes que representam elementos, processos, aparências, etc. utilizados pelos *software*s aplicativos durante o processo de construção de um modelo ou projeto.

O formato IFC possui arquitetura aberta e linguagem comum para a troca de informações entre *software*s de diversos fabricantes, levou 10 anos para estabelecer os padrões de IFC, e o envolvimento da indústria foi fundamental para o seu sucesso. O *Building Smart International* possui, atualmente, 14 alianças regionais representando um país ou conjunto de países, abrangendo hoje mais de 20 países. As alianças regionais são formadas por membros que podem ser indivíduos (arquiteto, engenheiro, empreiteiro, etc.), fabricantes de produtos para a construção, fornecedores de *software*, órgãos governamentais, associações ou órgãos representantes de áreas técnicas e instituições científicas, todos com o objetivo de definir, através do conhecimento coletivo, uma linguagem comum para a melhoria da troca de informações na indústria da construção civil (ADDOR et al., 2010).

2.3.2.4 – Mudanças de paradigmas e o sistema BIM

Em um processo convencional de projeto, gera-se um grande número de informações importantes para a produção do edifício. Porém, no pós-obra, é comum a perda destas informações, e muitas vezes os profissionais responsáveis pela gestão do edifício não disporem de informações técnicas mais precisas, o que gera conflitos e patologias / problemas de ocupação da edificação (ADDOR et al., 2011). No processo de *retrofit,* que consiste na adaptação de uma edificação antiga a um novo uso, os dados técnicos sobre a edificação já não existem ou estão difusos em documentos impressos em péssimo estado de conservação ou até mesmo em publicações. Sua reunião torna-se complexa e pode, se não bem planejada, inviabilizar o processo.

Com a adoção de sistemas BIM, as informações que acercam a produção de uma edificação estão reunidas e organizadas em um único modelo, o que facilita o processo de *retrofit* ou modificação de uma edificação existente. Para os grandes centros urbanos, trata-se de algo muito importante, pois com a valorização do espaço urbano é comum a mudança do uso de determinado edifício, e sua simples demolição dentro do ambiente urbano pode ser complexa e onerosa.

Para a execução de um edifício residencial, pode-se chegar a geração de mais de 10.000 documentos distintos. Grande parte dos problemas ocorre por

falta de comunicação e integração entre pessoas e documentos. A baixa qualidade e confiabilidade das informações torna-se uma vilã dentro do processo. Nos processos convencionais de projeto, grande parte dos dados são gerados simultaneamente, e vários usuários acessam estas informações e fazem modificações pertinentes a sua área, e desta maneira, a chance da ocorrência de falhas é bastante considerável.

Os modelos criados na plataforma BIM, por sua vez, concentram e integram todas as informações, evitando equívocos e falhas. Todos os projetos estão vinculados a um mesmo modelo. Sua implantação significa uma mudança de paradigma dentro do processo de projeto atual, pois exige a integração de diferentes hierarquias de informação, o que demanda integração da equipe de projeto (ADDOR et al., 2010).

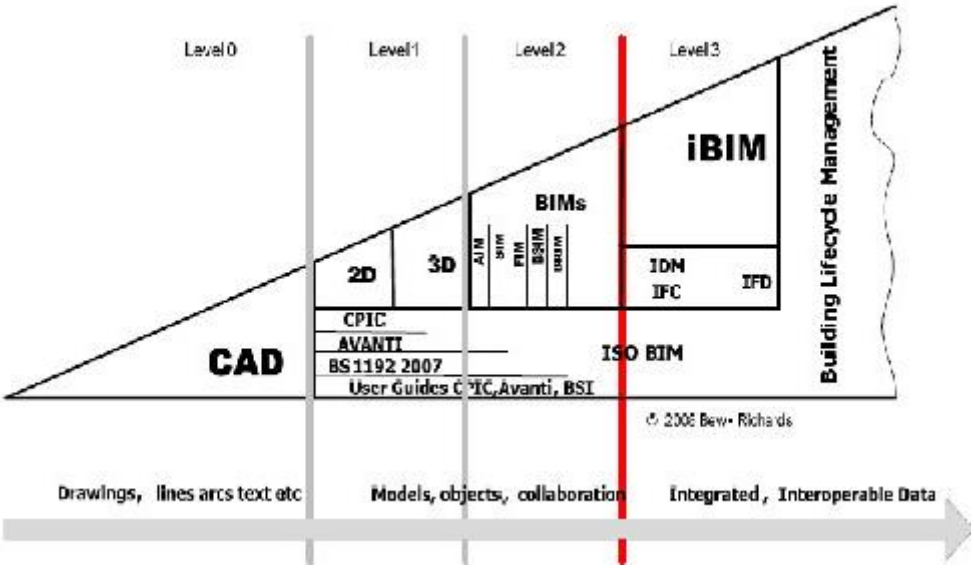
Para que seja viável, os sistemas BIM necessitam de que os profissionais envolvidos no processo de projeto iniciem suas tomadas de decisão desde o início da concepção do edifício. Desta maneira, o processo torna-se integrado e interativo, pois diferentes tomadas de decisão, como custo e prazo, podem ser consideradas desde os esboços iniciais, permitindo a execução de maneira otimizada.

No processo convencional, a concepção de uma edificação consistia na execução de projetos preliminares, quantitativos, orçamentos, planejamentos e execução, com grandes intervalos de tempo entre etapas. O sistema BIM permite a execução praticamente simultânea de todas estas etapas, permitindo que as decisões sejam tomadas em função da análise do impacto sobre quantidades, custos, prazos e estratégias de produção, logística e até mesmo manutenção. (PRATES, 2010).

2.3.2.5 – Maturidade dos sistemas BIM

A implantação de sistemas BIM não ocorre na mesma forma em todos os tipos de empresas. Os usuários terão de passar por um processo de mudança, iniciando com a organização interna através dos fornecedores e clientes. O BIS - Departamento de Inovações do negócio e habilidades – do Reino Unido, desenvolveu um modelo de maturidade, com níveis de 0 a 3 (Figura 8), para entender o grau de implantação dos *software*s na indústria da construção. Em todo o mundo, grande parte das empresas ainda estão trabalhando no nível 1, e os melhores estão experimentando benefícios significativos no nível 2 (PORWAL e HEWAGE, 2013).

Figura 8 – Esquema da Maturidade da implantação de sistemas BIM



Fonte: http://www.bimtaskgroup.com Acesso em 12/05/2016

De acordo com a classificação BIS, a evolução dos sistemas BIM pode ser dividida em quatro níveis. O nível 0 consiste em as primeiras aplicações CAD para o desenvolvimento de projetos em todo o mundo. O foco destas aplicações era objetos bidimensionais, e continua a ser a transferência de projetos artesanais para computador em todos as áreas, como a aeronáutica, construção mecânica e civil, conforme já foi explorado anteriormente. O nível 1 consiste nos primeiros esforços de fazer objetos integrados bi e tridimensionais, mas os objetos deste nível ainda possuem dificuldades em serem integrados porque eles ainda são vetores, como as ferramentas CAD (PORWAL e HEWAGE, 2013).

Na sequência, o nível 2 consiste nas primeiras aplicações de sistemas BIM. No entanto, a utilização nesta fase ainda está apenas em modelagem, sem a integração entre diferentes instâncias. Por último, o nível 3 consiste na aplicação de BIM de forma integrada, com o desenvolvimento de projeto com ferramentas diferentes.

Outros modelos também foram desenvolvidos para entender a implantação BIM. O AIA – *American Institute of Architects* – desenvolveu um método de classificação da implantação BIM. A escala varia do nível mais baixo (100) até o nível mais alto (500), e analisa o tipo de informação processado em cada diferente nível. (Figura 9).

Figura 9 – Modelo Proposto pelo AIA

Model Progression Specifications AIA		
Level of Detail	**Model Content**	**Design and Coordination**
100	Conceptual	Non-geometric data or line work, area, volumes, zones, etc.
200	Approximate geometry	Generic elements shown in three dimensions. Maximum Size and Purpose
300	Precise geometry	Confirmed 3D. Object geometry: Dimension, Capabilities and Connections
400	Fabrication	Shop drawing / Fabrication: Purchase, Manufacture, Install and Specified.
500	As-Built	

Fonte: Adaptado de Porwal e Hewage (2013)

Os especialistas também costumam classificar as ferramentas BIM com o tipo de informação manipulada. De acordo com Calvert (2015), na Tabela 4, pode ser definido por:

Tabela 4 - Estágios e definições da implantação BIM

Estágio	Definição
2D	Primeiras aplicações CAD. Uso de linhas, arcos e elementos geométricos vetoriais.
3D	Primeiros elementos tridimensionais, com a definição de parâmetros como tipo de material.
4D	Modelos com tempo de produção embutidos. Possibilidade de planejamento da produção utilizando soluções *just-in-time.*
5D	Modelos com estimativa de custo. Cada elemento do modelo possui um atributo que permite uma análise das variáveis de custo durante o processo e gestão.
6D	Modelos com atributos de sustentabilidade. Exigência de selos de certificação ambiental, como o Leadership in Energy and Environmental Design.
7D	Modelos do tipo As-Built. Parte fundamental para o gerenciamento de *facilities* da edificação.

Fonte: Adaptado de Calvert (2015)

A implantação BIM na indústria requer o ajuste das variáveis de trabalho (cooperação entre pares, fornecedores), *hardware*, operadores (designers, engenheiros, arquitetos, colaboradores) e a demandas dos clientes.

2.3.2.6 - Mudança da organização e dos objetivos das empresas no contexto BIM

Segundo Addor (2013), a implantação de ferramentas BIM em empresas de AEC pressupõe a consciência de que tal ação envolverá mudanças de cultura, investimentos em infraestrutura, treinamentos e revisão dos processos de trabalho. É necessário o envolvimento e conscientização de todos os membros da equipe, principalmente quando se trata de uma equipe heterogênea, com diferentes níveis de experiência profissional e de aptidão para as novas tecnologias.

O processo se inicia com a identificação de quais benefícios se teria com a implantação das soluções BIM para a empresa. A interação com os clientes deve ser considerada, a fim de divulgar as vantagens e a confiabilidade que a nova plataforma proporciona, pois para os mesmos, o desenvolvimento dos projetos em BIM pode significar um melhor nível de informação. Assim, é importante entender quais os produtos que os clientes pretendem receber, a fim de direcionar o processo de implantação.

Ainda segundo Addor (2013), torna-se importante o estabelecimento de uma espécie de plano de negócio para a implantação BIM, com uma programação ao longo do tempo. Devem ser previstos os custos necessários e o retorno dos investimentos, analisados preferencialmente por métodos numéricos. Faz-se necessária uma análise prévia dos índices de produtividade existentes, e o que se pretende mudar com a implantação de soluções BIM. As principais aplicações estão listadas na Tabela 5.

Tabela 5 – Aplicações de tecnologia BIM

PROJETO	CONSTRUÇÃO	OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO
-Concepção do projeto; -Documentação do projeto; -Visualização do projeto; -Compatibilização dos projetos; -Revisão de projeto; -Análise de eficiência energética; -Avaliação de critérios de sustentabilidade; -Análises de engenharia; -Extração de quantitativos.	-Planejamento da logística de canteiro; -Planejamento e controle 4D; -Coordenação 3D; -Fabricação digital; -Gestão de custos; -Mock-ups virtuais.	-Programação de manutenção preventiva; -Análise dos sistemas do edifício; -Gerenciamento do edifício; -Gerenciamento dos espaços; -Plano de evacuação do edifício; -Modelo consolidado (final).

Fonte: ADDOR (2013).

De maneira geral, estão resumidos na Tabela 6 os principais passos visando uma implantação BIM adequada, segundo Addor (2013).

Tabela 6 – Principais passos para a implantação BIM

AÇÃO	**DESCRIÇÃO**
Metodologia de Implantação	-Levantamento de dados dos processos atuais para comparar com dados futuros; -Planejamento do período de transição em relação aos projetos em andamento; -Definição da intensidade da carga de trabalho sobre a equipe e quanto tempo será destinado para a implantação; -Verificação da necessidade de um grupo de suporte interno ou de consultor externo para monitorar os trabalhos das equipes no desenvolvimento dos primeiros projetos
Planejamento da Infraestrutura	-Investimento em infraestrutura associado ao fluxo financeiro da empresa, podendo ser gradativo conforme as necessidades das equipes;
Planejamento de Recursos Humanos	-Quantidade de profissionais envolvidos inicialmente; -Definição dos colaboradores que estão mais aptos para iniciar o processo; -Envolvimento de toda a empresa com a ideia da implantação do BIM, expondo para todos o plano e as etapas; -Etapas de treinamento de acordo com a necessidade da implantação.
Prazos	-Cronograma com a definição de metas primárias e secundárias, vinculado ao fluxo financeiro da empresa; -Monitoramento e controle das metas atingidas e adequação do planejamento.

Fonte: ADDOR (2013).

CAPÍTULO 3 – PERFIL DE UTILIZAÇÃO E ÍNDICES DE PRODUTIVIDADE DAS FERRAMENTAS DE PROJETO UTILIZADAS NA CONSTRUÇÃO CIVIL

3.1 – Organização do Capítulo

A revisão bibliográfica do capítulo 2 sinalizou que os autores não possuem dados quantitativos quanto ao desempenho e a adoção entre soluções CAD e BIM. Assim, foram desenvolvidos três estudos de caso visando quantificar e obter dados numéricos que pudessem expressar a diferença do emprego das ferramentas.

O primeiro estudo de caso foi desenvolvido no artigo "**Visão geral das ferramentas de projeto na área da construção civil na região sudeste Brasileira**" apresentado no APMS 2014 – Ajaccio. Este estudo compreendeu a análise da utilização de ferramentas de informática em 23 escritórios de projeto da região sudeste do Brasil. Assim, foi possível entender, de maneira inicial, qual o comportamento do mercado com relação ao uso de ferramentas de informática e seu impacto no processo produtivo. Este estudo de caso é apresentado no item 3.2.

O segundo estudo de caso, por sua vez, foi desenvolvido com o artigo "**Potencial das ferramentas BIM no cenario da construção civil Brasileira**", apresentado no APMS 2015 – Tokyo - onde foi analisado, em um grupo de 10 empresas de projeto, qual o tempo efetivo de utilização das ferramentas CAD e BIM e a produção realizada, para entender a produtividade média destas ferramentas e suas particularidades, considerando tanto a quantidade quanto as características do que estava sendo desenvolvido. Este estudo é apresentado no item 3.3.

Por fim, o terceiro estudo de caso realizado foi desenvolvido no artigo "**Perfil de utilização de ferramentas BIM no cenário da construção civil Brasileira**", apresentado no APMS 2015 – Tokyo - onde foram estudados, especificamente, 16 escritórios que utilizam soluções BIM com o objetivo de entender o grau de implantação da ferramenta no âmbito nacional. Este estudo é apresentado no item 3.4.

3.2 - Visão geral das ferramentas de projeto na área da construção civil na região sudeste Brasileira

3.2.1 - Problematização

Este subcapítulo resume os principais resultados do artigo "**Visão geral das ferramentas de projeto na área da construção civil na região sudeste Brasileira**" apresentado no APMS 2014 – Ajaccio. A íntegra do artigo encontra-se no Anexo 2. A revisão bibliográfica realizada para o desenvolvimento deste artigo demonstrou que os autores não possuem dados numéricos quanto a efetividade de utilização das ferramentas nos seus cenários, e tal informação seria bastante útil pois permitiria a comparação e um entendimento melhor do cenário em estudo. Assim, foi realizado um estudo de caso contemplando 23 empresas de projeto da região sudeste do país, visando obter dados quantitativos quanto ao emprego de ferramentas de informática nos processos de projeto, visando compreender seus ganhos e gargalos.

3.2.2 – Variáveis levantadas

Para a realização da pesquisa, foi submetido um questionário em 23 empresas de projeto de médio e grande porte da região sudeste do Brasil. O perfil das empresas (Figura 10), demostrou que 20% delas estão envolvidas com construção residencial, 42,5% com construção comercial, 16% com projetos de infraestrutura e 22,5% em obras de infraestrutura. Dos entrevistados, 40% eram pequenas e 35% grandes empresas (Figura 11).

Figura 10 – Área de atuação da empresa

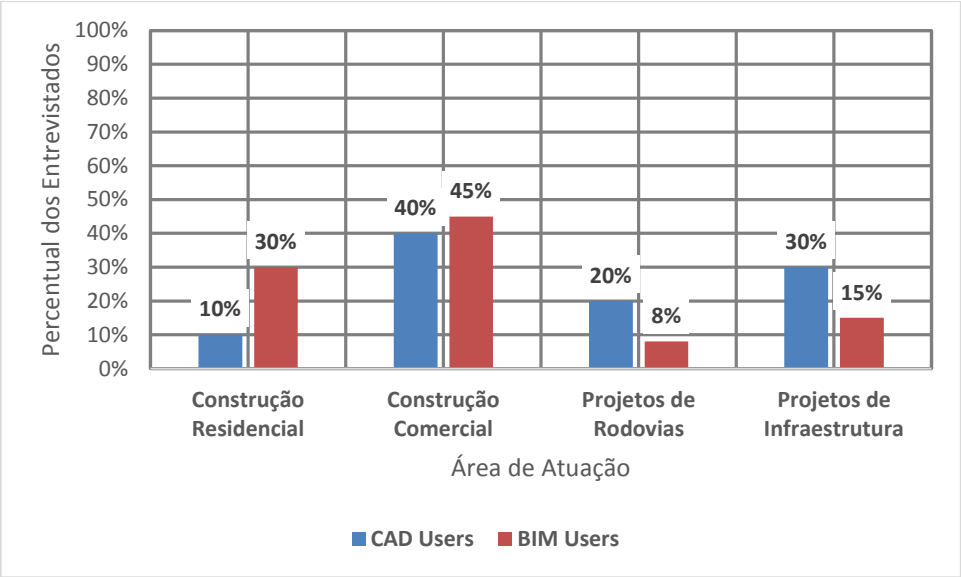
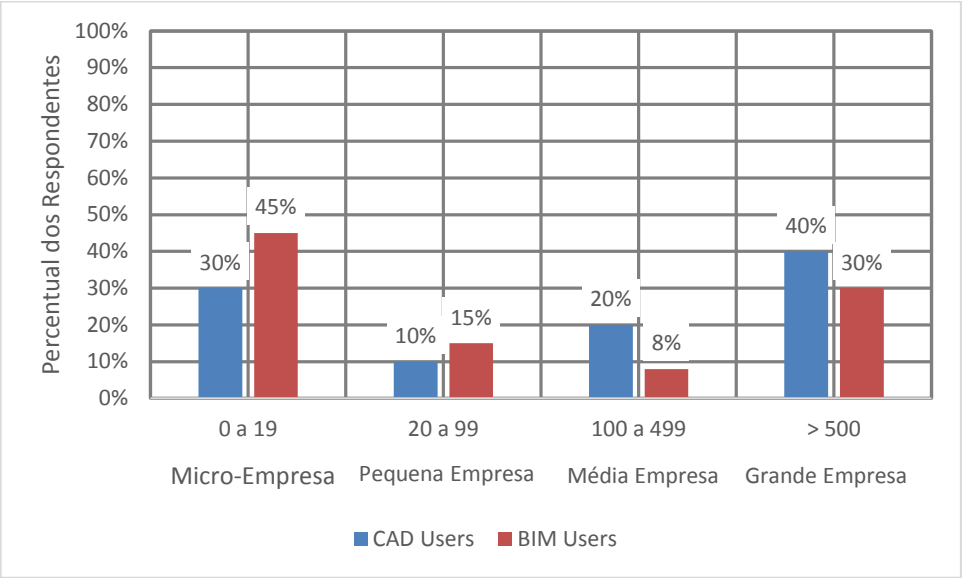


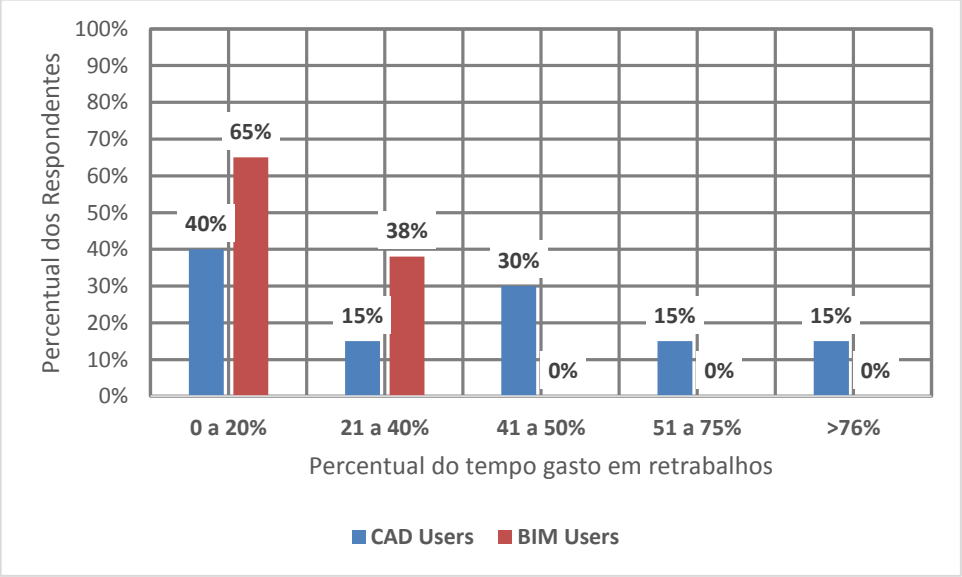
Figura 11 – Percentual de empregados de cada empresa



3.2.3 - O tempo gasto no desenvolvimento de projetos

Analisando o tempo gasto no desenvolvimento de projetos (Figura 12), foi possível averiguar que as ferramentas BIM exigem mais tempo no projeto (52%) quando comparada com ferramentas CAD (40%). Isto pode ser explicado pela necessidade de mais tempo que o utilizador BIM precisa para desenvolver seus projetos. A rotina de projeto em ferramentas CAD permite a omissão de várias informações que são imprencidíveis nas ferramentas BIM.

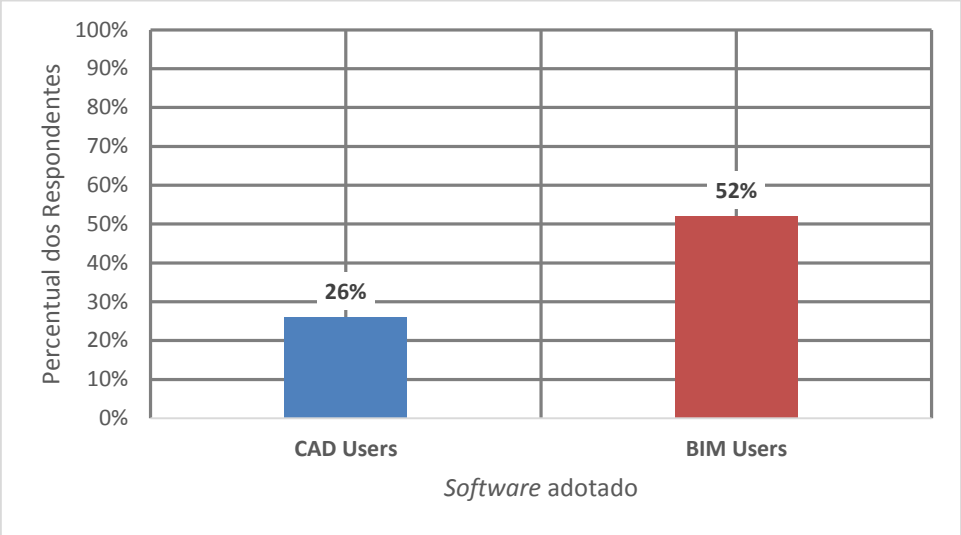
Figura 12 – Percentual do tempo gasto em retrabalhos



3.2.4 - Coeficientes de produtividade

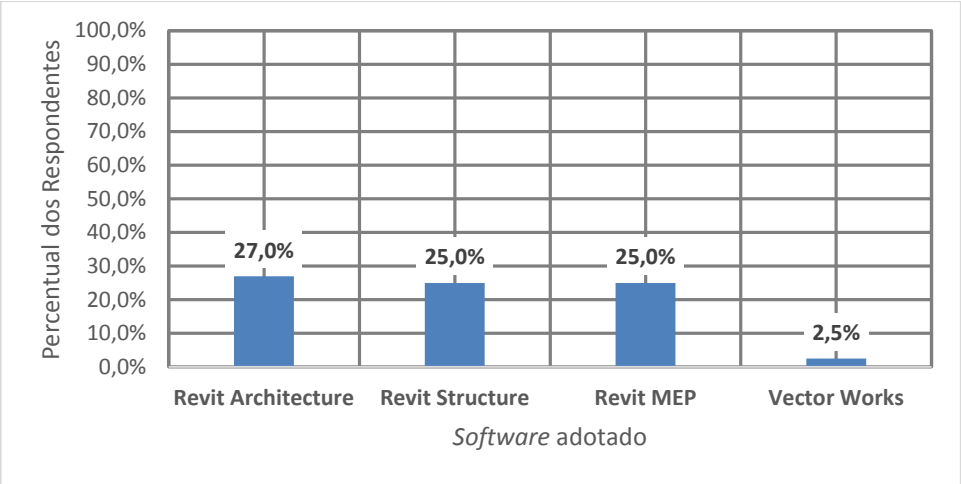
A fim de obter a eficiência das ferramenta, foi analisada a hora/trabalho despendida na elaboração de projetos, como apresentado na Figura 13. A análise demostrou que os usuários BIM gastam 50% mais tempo no desenvolvimento do projeto do que os usuários CAD devido ao tempo necessário na definição de todas as instâncias.

Figura 13 – Percentual de hora/projeto utilizado em cada tecnologia



Dos *softwares* analisados, os mais citados na região sudeste foram o Revit Architecture®, Revit Structure® e Revit MEP®, da Autodesk Corporation, com 27,5%, 25% e 25%, respectivamente. Vector Works é utilizado apenas por 2,5% dos usuários. Outras soluções de *software* específicas foram citados por 19% (Figura 14).

Figura 14 – Os *softwares* mais citados entre os entrevistados



3.2.5 – Aspectos relevantes obtidos

As ferramentas CAD e BIM possuem particularidades que precisam ser analisadas antes de se comparar as duas soluções. Hoje em dia, no Brasil, o mercado de construção está familiarizado com as rotinas e especificações das ferramentas CAD, e na maior parte, os profissionais usam a tecnologia com proficiência.

No processo de projeto, o cliente necessita de diferentes graus de informação, e, neste ponto, as ferramentas CAD são mais eficiente pois necessitam de menos informações para gerar o produto final. As ferramentas BIM, em contrapartida, necessitam de um número maior de informações a partir do início do projeto, o que requer mais tempo de elaboração. Porém, para as etapas seguintes, as ferramentas BIM também requerem menos informação no desenvolvimento, o que poderia compensar este índice.

Os processos de projeto na área da construção civil são muito específicos, pois apresentam particularidades que os diferem quando comparado a outras áreas. As ferramentas CAD foram as primeiras aplicada em grande escala, transformando os processos do projeto, e de certa maneira as ferramentas BIM podem ser consideradas como uma evolução dos sistemas CAD.

O mercado da construção civil no Brasil está acostumado com menos informações nos projetos, onde muitos detalhes ainda acabam sendo resolvidos posteriormente. Tal prática aumenta o preço dos produtos e, em um mercado competitivo, pode-se tornar difícil o aumento dos lucros e diminuição das despesas.

3.3 - Potencial das ferramentas BIM no cenário da construção civil Brasileira

3.3.1 – Problematização

Este subcapítulo resume os resultados do artigo “**Potencial das ferramentas BIM no cenário da construção civil Brasileira**” apresentado no APMS 2015 – Tokyo, que contempla a análise do tempo gasto para o desenvolvimento de projeto em escritórios da região sudeste do Brasil analisando também o impacto do tempo frente a fase de projeto. A íntegra do artigo encontra-se no Anexo 5. As ferramentas CAD e BIM podem ser utilizadas em diferentes etapas de projeto. Cada etapa, por sua vez, possui características e exigências específicas que a diferenciam no contexto e assim, a utilização de uma ferramenta pode ser mais

efetiva em algumas etapas do que em outras. Para o entendimento desta variável, foi desenvolvido este estudo de caso contemplando 10 empresas de projeto da região de São Paulo.

3.3.2 - Amostragem

Foram entrevistadas dez empresas da região de São Paulo, formado por pequenas, médias e grandes empresas. Neste grupo, 60% eram pequenas empresas, 30% por médias e 10% de grande porte (Figura 15).

Figura 15 – Tamanho das empresas

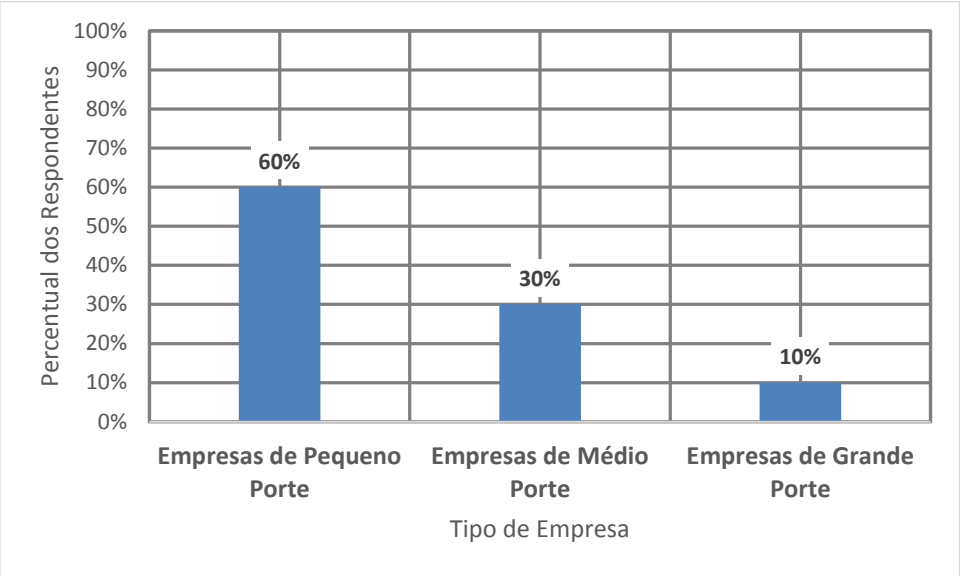
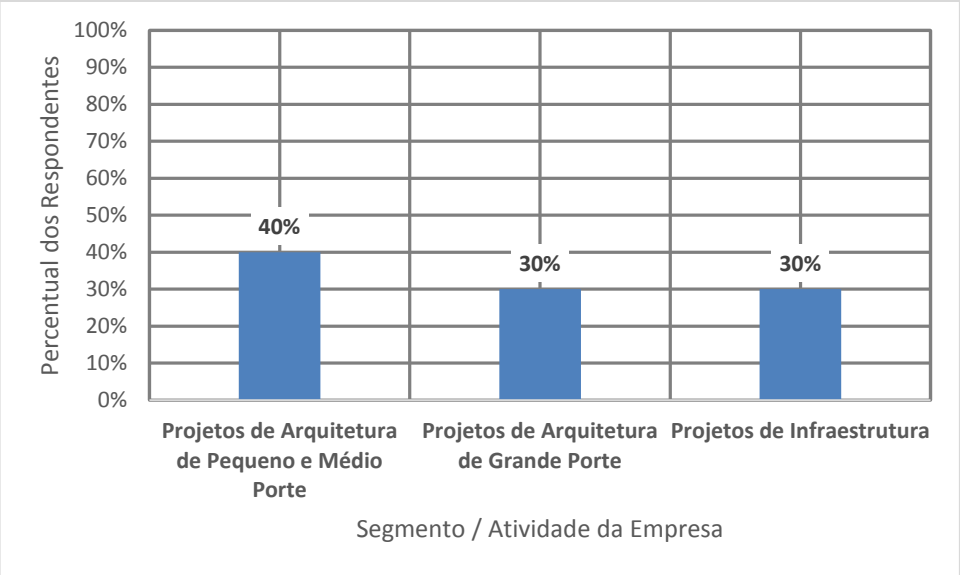


Figura 16 – Tipos de negócio



Os tipos de projetos desenvolvidos pela empresa são importantes para mostrar como eles estão empregando as tecnologias. Dos entrevistados, 37,5% desenvolviam projetos de edifícios de grande porte focando apenas arquitetura, 25% foram projetos de pequenas e médias porte focando apenas arquitetura, e 37% desenvolviam projetos de infraestrutura e execução (Figura 16).

3.3.3 – Variáveis analisadas

Foi submetido um questionário para os gestores das empresas, a fim de se obter as seguintes informações dos últimos 12 meses:

- Tipo de projetos desenvolvidos;
- Área total projetada;
- Número de profissionais envolvidos no desenvolvimento do projeto;
- Tempo total gasto no desenvolvimento do projeto;
- Tempo total gasto por cada profissional no desenvolvimento do projeto;
- Experiência da equipe na utilização de *software*.

O levantamento destas informações permitiu o estabelecimento de métricas que poderiam definir o potencial das ferramentas no desenvolvimento do projeto no cenário brasileiro.

3.3.4 – Perfil de utilização dos usuários

Dos entrevistados, 44% das empresas empregam soluções BIM, enquanto 67% dos respondentes utiliza soluções CAD (Figura 16). A experiência média das empresas na utilização das ferramentas são de 10 anos para os utilizadores BIM e 12 anos para usuários CAD (Figura 17).

Figura 17 – Perfil dos entrevistados

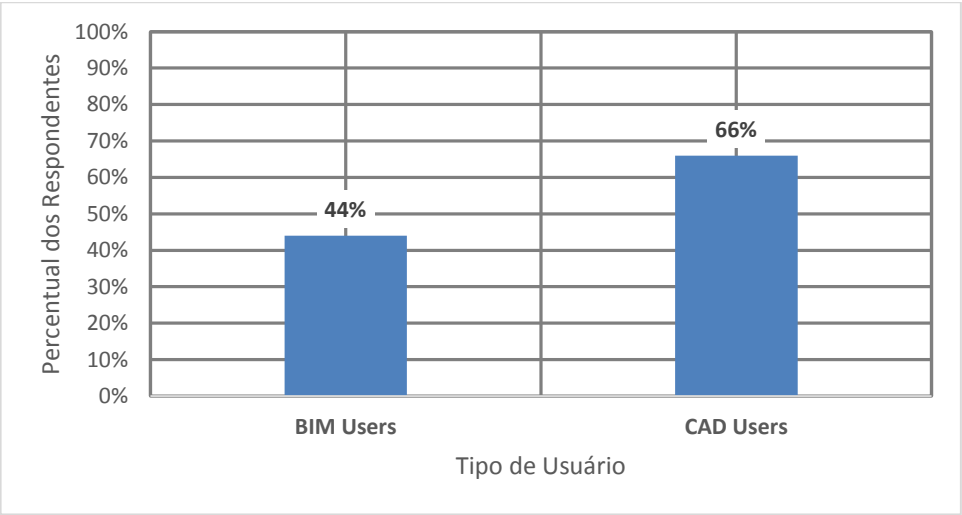
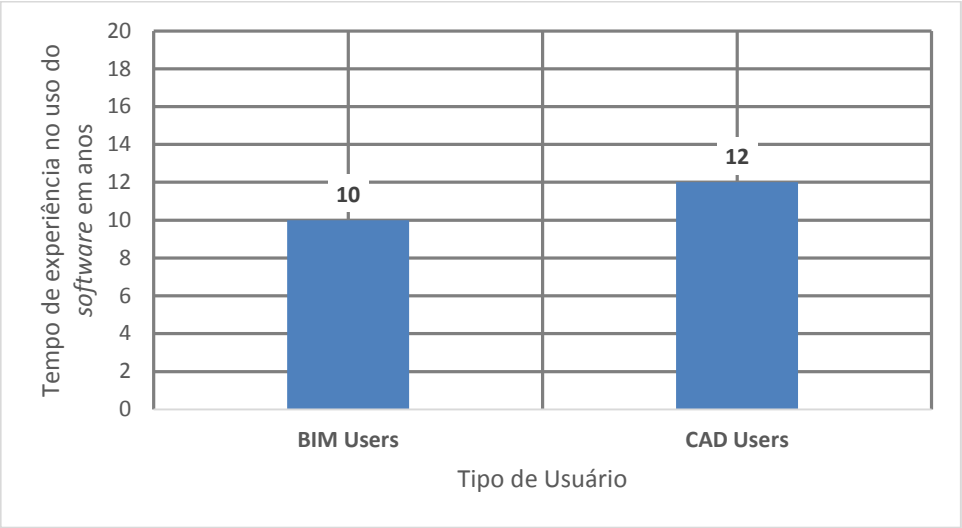


Figura 18 – Tempo de experiência das empresas



3.3.5 - Análise de produtividade entre BIM x CAD

Foi feita uma comparação entre as diferentes etapas de desenvolvimento do projeto nas empresas. Para etapas iniciais, os projetistas gastam menos tempo e geram uma maior área bruta enquanto que para os projetos finais, onde o nível de detalhamento é maior, gastam mais tempo na elaboração dos projetos. Esta informação também foi levantada junto às empresas pesquisadas.

Os resultados obtidos demostraram que, para Projetos Básicos, os usuários BIM gastaram 0,44 h por metro quadrado desenvolvido enquanto os usuários CAD empregaram 1,55 h por metro quadrado. Já para projetos executivos, os usuários BIM gastaram 0,74 h por metro quadrado, enquanto os usuários de CAD gastaram de 1,08 h para metro quadrado (Figuras 19 e 20).

Figura 19 – Tempo gasto em ferramentas BIM

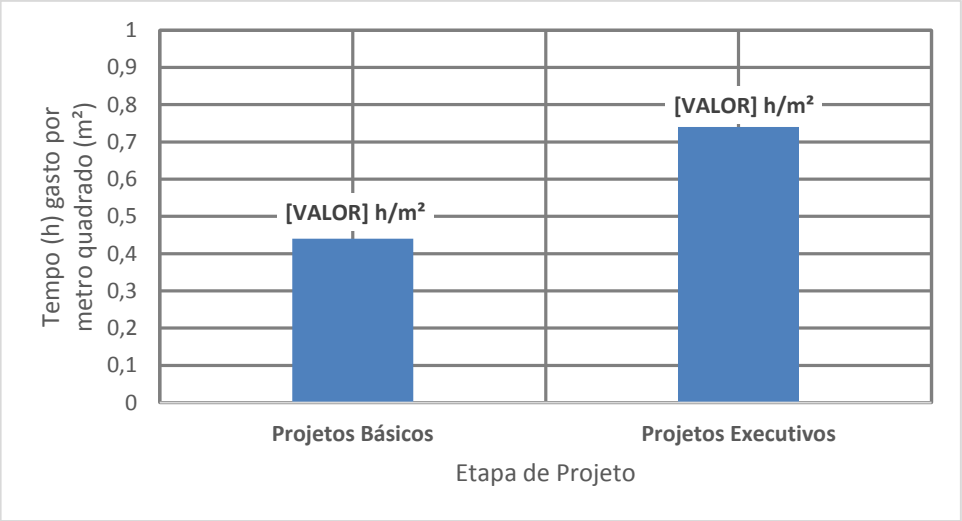
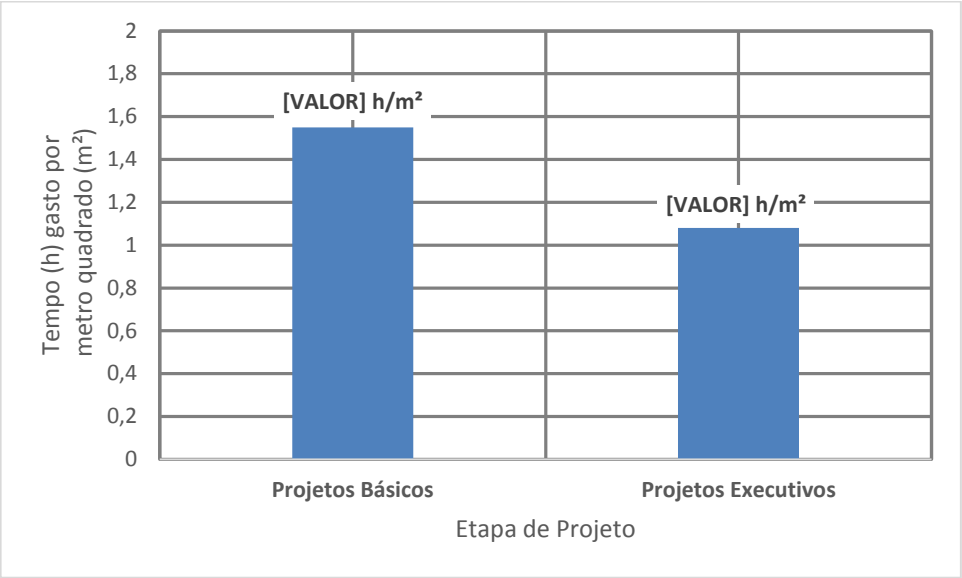


Figura 20 – Tempo gasto em ferramentas CAD



3.3.6 – Aspectos relevantes obtidos

Neste estudo de caso, as ferramentas BIM, em comparação com soluções de CAD, apresentaram-se mais eficientes, porém, considerando a etapa de projeto, as diferenças são ainda mais significativas. A utilização de ferramentas BIM para projetos iniciais foi de 0,44 horas para cada metro quadrado desenvolvido contra 1,55 hora para cada metro quadrado nas ferramentas CAD.

Para projetos finais, em ambas as tecnologias, os designers despenderam mais tempo no desenvolvimento de atividades, e o tempo aumentou de 0,74 hora por metro quadrado para usuários BIM, enquanto os usuários CAD utilizaram 1,08 horas por metro quadrado.

As ferramentas de informática modificaram o processo de desenvolvimento de projeto ao longo de sua implantação. As ferramentas CAD tornaram o processo de projeto mais eficaz, porém com gargalos de integração difíceis de serem superados, que apenas com as ferramentas BIM puderam ser superados. A comparação da produtividade entre as ferramentas BIM e CAD demostra que as primeiras são mais eficientes.

3.4 – Perfil de utilização de ferramentas BIM no cenário da construção civil Brasileira

3.4.1 - Problematização

Este subcapítulo, por sua vez, resume os resultados do artigo "**Perfil de Utilização de Ferramentas BIM no cenário da construção civil Brasileira**" apresentado no APMS 2015 – Tokyo, cujo objetivo é analisar o grau de implantação e maturidade das ferramentas BIM nos principais escritórios de projeto que utilizam a tecnologia do país. A integra do artigo encontra-se no Anexo 6. As ferramentas BIM estão sendo paulatinamente implementadas em escritórios de projetos no Brasil, fazendo com que a mesma ganhe importância no cenário. Conforme já apontado na revisão bibliográfica do Capítulo 2, as possibilidades de utilização da ferramenta se iniciam nos projetos básicos e permitem a gestão de todo o processo de projeto, produção e gestão da edificação no pós obra. Porém, nem todos os usuários utilizam a ferramenta de maneira plena e com todas as possibilidades de integração possíveis, assim, este artigo foi desenvolvido buscando compreender este fenômeno.

3.4.2 - Amostragem

Foram analisadas 16 empresas especialistas em BIM. Destas, 6,25% compreendidas por pequenas empresas, 56,25% de médias e 37,5% de grandes empresas (Figura 21). Quanto ao segmento, 37,5% escritórios de arquitetura, 18,75% empresas de controle e planejamento de obra e 6,25% empresas de Sistemas Prediais. (HVAC) (Figura 22).

Figura 21 – Perfil da empresa

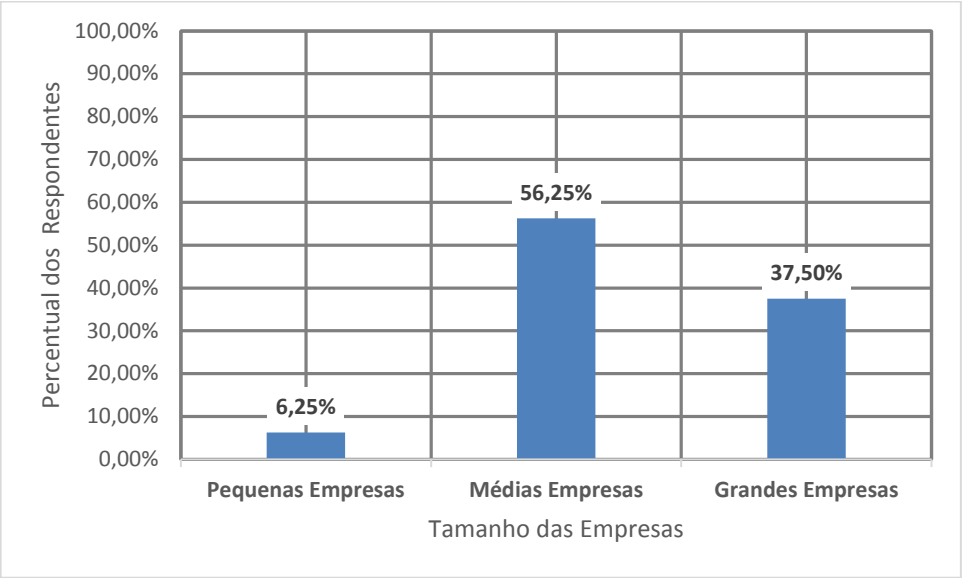
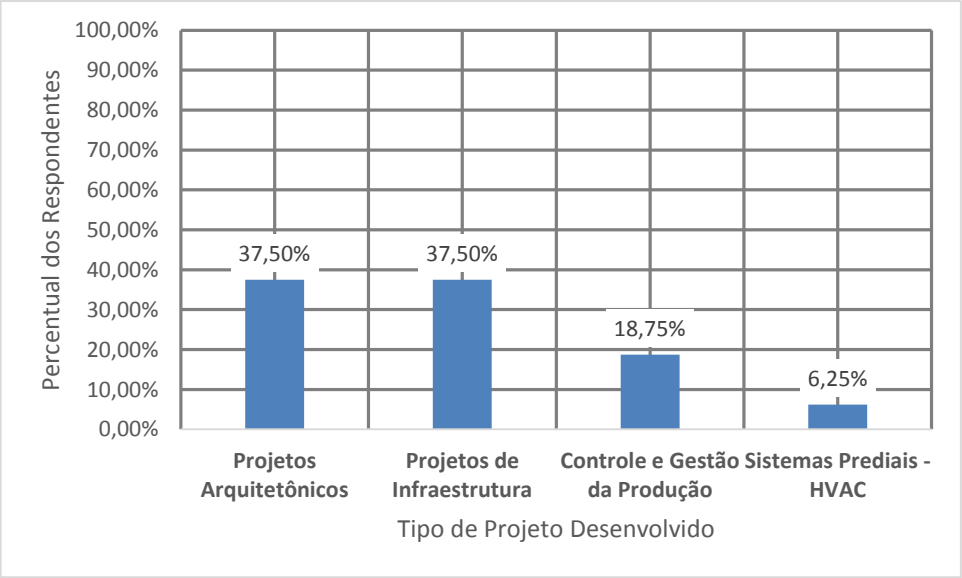


Figura 22 – Segmento da empresa



3.4.3 – Variáveis analisadas

Para a análise, foram estudados os projetos desenvolvidos pelas empresas e divulgados nos eventos Autodesk University Brasil 2013 e 2014. Nestes eventos reúnem-se os maiores especialistas de BIM do país. Pela tecnologia e ferramentas disponibilizados, é possível compreender o grau de implantação das ferramentas BIM utilizadas e seu grau de maturidade no país.

3.4.3 – Método de análise dos dados

A primeira análise foi baseada no método proposto pelo BIS, que segundo Porwal e Hewage (2013), classifica a implantação BIM por níveis de maturidade, conforme Tabela 7.

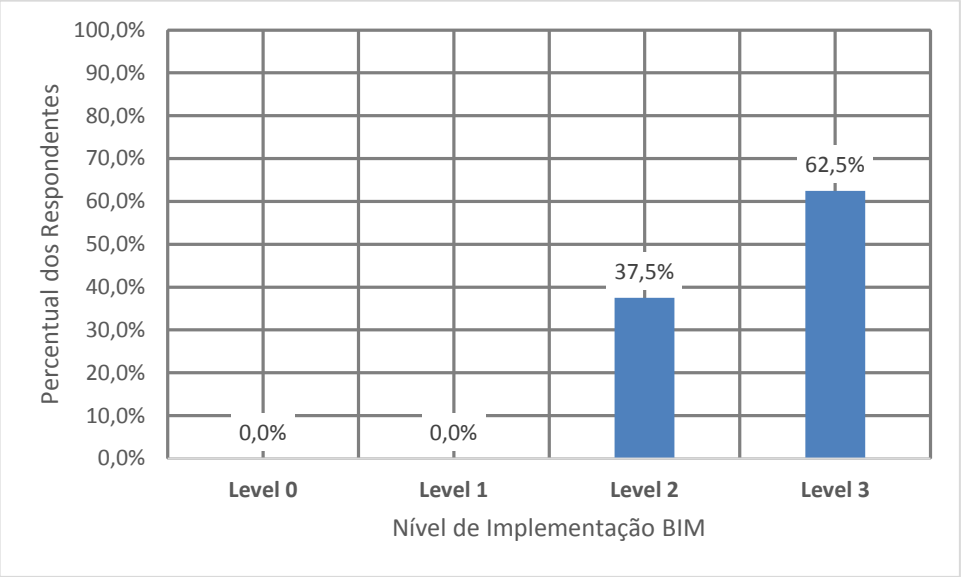
Nível	Tipo de Informação	Características
0	CAD	CAD – Elementos Bidimensionais
1	2D-3D	CAD – Elementos tridimensionais
2	BIM	Objetos Paramétricos
3	IBIM/Lifecycle Management	Objetos Paramétricos com Interoperabilidade

Tabela 7 – Classificação BIM proposta pelo BIS

Fonte: Porwal e Hewage, 2013.

Ao aplicar a metodologia BIS, nenhuma empresa se classificou nos níveis 0 e 1, 37,5% das empresas foram classificadas no nível 2 e 62,5% foram classificados no Nível 3. Os resultados podem ser verificados na Figura 23.

Figura 23 – Classificação BIS



Um problema resultante desta classificação é a generalização feita dentro de Nível 3, que não permite uma compreensão mais aprofundada quanto ao grau de implantação e não diferencia os avanços em diferentes segmentos. Buscando contornar esta dificuldade, foi proposta uma análise através de categorias (CAT-

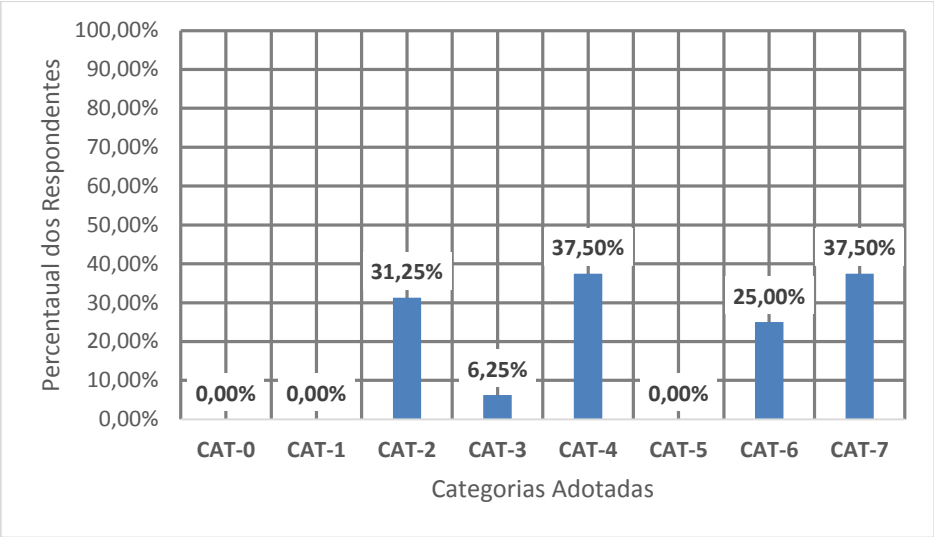
01, CAT-02, CAT-03, CAT-04, CAT-05, CAT-06 e CAT-07). As características de cada uma foram listadas na Tabela 8.

Tabela 8 – Classificação por categorias

Categoria	Tipo de Informação	Características
CAT-0	2D	Informações Bidimensionais
CAT-1	3D	Informações Tridimensionais
CAT-2	BIM	BIM visando modelagem arquitetônica
CAT-3	i-BIM	BIM visando modelagem estrutural
CAT-4	i-BIM	BIM visando sistemas prediais (HVAC)
CAT-5	i-BIM	BIM visando Análise termo acústica
CAT-6	i-BIM	BIM visando projetos de infraestrutura
CAT-7	i-BIM	BIM visando interoperabilidade

Os resultados demonstraram que nenhuma empresa foi classificada como CAT-0 ou CAT-1, 31,25% são CAT-2 e utilizam o BIM apenas para modelagem, enquanto apenas 6,25% são CAT-3 e utilizaram BIM para análise estrutural. Ainda, 37,5% dos escritórios estão utilizando soluções BIM para Sistemas Prediais e nenhum dos entrevistados foi classificado como CAT-5, e assim, nenhum deles realiza verificação quanto ao desempenho térmico e acústico com soluções BIM. Porém 25% dos escritórios são CAT-6 e utilizam BIM para soluções de Infraestrutura e 37% foram classificados como CAT-7 e utilizam as ferramentas com vistas à integração entre diferentes instâncias. Os resultados podem ser visualizados na Figura 24.

Figura 24 – Análise por categorias



3.4.5 - Aspectos relevantes obtidos

As ferramentas BIM significaram uma grande mudança no método de desenvolvimento de projetos. O estudo demostrou que, apesar das dificuldades, as empresas estão implementando as ferramentas BIM no país. Considerando a classificação BIS, as empresas estão usando as ferramentas BIM de forma avançada, acompanhando o contexto mundial.

Já a análise por categorias proposta pelo autor demostrou uma baixa aplicação de análise estrutural com ferramentas BIM (6,25%), e um grande foco aplicação da tecnologia em Modelagem (31,25%), HVAC (37,5%) e Infraestrutura (25%). A análise por categorias também mostrou que grande parte das companhias (62,5%) utilizam ferramentas BIM sem integração e que, dentro das empresas analisadas, nenhuma delas realiza análise térmica e acústica.

Para os profissionais, a implantação BIM na indústria AEC significa um melhor tipo de ferramenta para o desenvolvimento do projeto, com poderia permitir o trabalho colaborativo, muito interessante no nosso cenário atual, onde os prazos são curtos e mudanças precisam ser feitas de uma forma mais rápida. Um trabalho colaborativo também permite o desenvolvimento de projetos sem incompatibilidades, contribuindo para uma maior eficiência.

CAPITULO 4 - A UTILIZAÇÃO DE FERRAMENTAS BIM EM ATIVIDADES DIDÁTICAS

4.1 – Problematização

Este capítulo resume os resultados do artigo "**Eficiência de ferramentas de informática no desenvolvimento de *Projet Based Learning* em atividades colaborativas de engenharia**" apresentado no APMS 2014 – Ajaccio, e do artigo "**Ensino de projeto na área da Engenharia Civil com a utilização de ferramentas BIM e PBL**" submetido à Revista Produção – Edição Especial sobre Ensino de Engenharia . A íntegra dos textos encontra-se nos anexos 3 e 4 respectivamente. A utilização de ferramentas BIM possui características que a posiciona em vantagem quando comparada as ferramentas CAD para o desenvolvimento de projetos na área da construção civil. Porém o uso de ferramentas BIM em atividades didáticas ainda está em fase inicial, acompanhando o movimento da indústria da construção que, paulatinamente, implanta estas soluções em seus fluxos de projeto. Estes artigos objetivam compreender as diferenças de qualidade nos projetos desenvolvidos em uma atividade didática, dentro de um curso de graduação em Engenharia Civil, através de uma análise quantitativa dos projetos desenvolvidos pelos alunos, analisando a eficiência das mesmas.

4.2 - Generalidades

O uso de ferramentas de informática em um curso de graduação em engenharia civil tem como objetivo permitir o desenvolvimento de projetos em *softwares* disponíveis no mercado, estabelecendo uma ponte entre o que é ensinado na universidade com o que é desenvolvido na vida profissional.

O processo de formação de um engenheiro civil consiste em um currículo básico, como Física, Química e Cálculo, com o objetivo de fornecer o raciocínio básico e ferramentas elementares para a continuidade do curso. No currículo específico, o objetivo é dar o conhecimento necessário para a vida profissional. Um desafio, neste contexto, está alinhando com os novos desafios e as consequências da globalização, como questões humanistas, formação crítica e reflexiva, possibilitando o desenvolvimento de novas tecnologias e contribuições para atender as demandas da sociedade.

Uma ferramenta estratégica que pode ser aplicado na geração das competências agregadas nos cursos de graduação são as atividades do tipo PBL– *Project Based Learning*. Esta metodologia se concentra no desenvolvimento de proje-

tos e tem o objetivo de simular a vida real. No PBL, o centro do processo de aprendizagem é o aluno, cujo papel é o de encontrar informações e agregar conhecimento, sendo considerado uma mudança de paradigma no processo de ensino e aprendizagem.

O PBL é definido como uma metodologia de ensino baseado em competências, integrando conhecimentos, habilidades e valores. Os modelos que integram a aprendizagem baseada em projetos têm a sua base científica na geração de processos de aprendizagem em que os alunos não são receptores passivos de conhecimento. Seguindo as tendências em psicologia do conhecimento, o PBL é baseado na crença de que os seres humanos constroem os novos conhecimentos sobre uma base de que já sabemos e do que temos experimentado, que disponibilizará, através da participação ativa e interação com os outros (RIOZ et al., 2010).

O desenvolvimento do PBL se originou em 1900, quando John Dewey (1859-1952) apresentou o "aprender fazendo", valorizando a capacidade de alunos por pensar o conhecimento em relação ao resolver problemas reais em projetos, desenvolvendo os aspectos emocionais, intelectuais e físicos (MASSON et al., 2012).

O PBL tem sido um dos principais focos de discussão, não apenas como um aprendizado pró-ativo, mas também na forma de desenvolver um currículo alternativo e adotando práticas inovadoras no ensino de engenharia. Requer um professor que reflita sobre a atividade docente, mudando a sua posição tradicional de conteúdos específicos para o aprendizado prático, fazendo que os alunos assumam uma maior responsabilidade em sua própria aprendizagem, com o entendimento de que o conhecimento adquirido a partir do seu esforço pessoal é mais eficaz do que o obtido apenas por informações de terceiros (RIOZ et al., 2010 ; MASSON et al., 2012).

As principais características desta metodologia são de que o aluno é o centro do processo, o trabalho é desenvolvido em grupos tutoriais, caracteriza-se por ser um processo orientado de aprendizagem, com postura ativa, cooperativa, integrada e interdisciplinar. Nesta metodologia, para um bom processo de aprendizado, é necessário estar ciente de que o aluno sabe o que ele precisa aprender e motivar a busca de informações relevantes, estimular a capacidade do aluno de aprender a trabalhar em equipe, de ouvir outras opiniões, induzindo-o a ter um papel ativo e responsável pela sua aprendizagem e ajudar os alunos a alcançar

os objetivos do projeto, que são: aprender a fazer um exame analítico e aprofundado de um problema, identificar objetivos de aprendizagem, buscar informações relevantes e aprender a trabalhar em grupo (RIOZ et al., 2010 ; MASSON et al., 2012).

4.3 - Estudo de caso

O estudo de caso realizado foi um exercício desenvolvido por 21 equipes de um curso de graduação em Engenharia Civil no 6º semestre. A base conceitual foi utilizar o PBL no desenvolvimento do projeto de uma residência e um edifício residencial com a utilização de *softwares* CAD e BIM, visando compreender a diferença no desempenho da utilização das ferramentas. Dentro deste momento do curso, os alunos tiveram disciplinas de Topografia, Tecnologia da Construção, Materiais de Construção, Desenhos Técnicos e Arquitetura e Urbanismo. Nas duas últimas, eles estudaram ferramentas CAD e BIM especificamente. Para o desenvolvimento das atividades, foram solicitados o programa contido na Tabela 9.

Tabela 9 – Programa de Necessidades

Residência Unifamiliar			**Edifício Residencial**	
Tamanho do Terreno	10 x 25 metros		Tamanho do Terreno	50 x 25 metros
Térreo	-Sala de Estar -Lavabo -Sala de Jantar -Cozinha -Lavanderia -Dependências de Empregada		Área Comum	-Entrada -Hall -Elevadores / Escadas -Salão de Festas -Área Técnica -Banheiro coletivo -Piscina -Vestiários
Superior	-Sala de TV -2 Dormitórios -1 Suíte -1 Banheiro comum		Apartamento	-2 Dormitórios -Sala de Estar -Cozinha -Lavanderia -Area Comum
Área Técnica	Cobertura		Área Técnica	Cobertura

4.3.1 - Grupos de trabalho e orientação

As atividades foram supervisionadas e orientadas por três professores da área de projeto. Os grupos foram divididos em 4 ou 5 alunos, com uma escala de orientação pré-definida.

4.3.2 – Adoção do *software* e acompanhamento

Cada grupo escolheu a adoção de ferramentas CAD ou BIM, por si só, para o desenvolvimento das atividades. Assim, 6 grupos adotaram *softwares* BIM, e 15 grupos optaram por *softwares* CAD. Cada grupo teve uma orientação semanal de

1 hora, durante 12 semanas. Os tutores deram, neste período, apoio ao que estava sendo desenvolvido. Na 13ª e 14ª semana, os alunos apresentaram os projetos para expor os resultados obtidos.

4.3.3 - Desenvolvimento da atividade

Cada grupo apresentou o trabalho para os tutores, defendendo e discutindo suas idéias. As Figuras 25 e 26 são exemplos de alguns trabalhos que foram desenvolvidos. Todas as equipes conseguiram desenvolver as atividades propostas.

Figura 25 – Perspectiva no Revit Architecture

Figura 26 – Corte humanizado

O modelo PBL permitiu a alguns alunos para aprender alguns tópicos e trocar conhecimento entre os colegas, tornando-se um processo bastante rico. Ambas as ferramentas permitiram a análise de todas as instâncias do projeto (estrutura, alvenaria, eletricidade e hidráulica), com uma boa precisão. Além disso, as equipes que adotaram soluções BIM tinha uma representação projetos mais eficientes do que as equipes que usavam ferramentas de CAD, o que mostra que o *software* pode interferir no processo de desenvolvimento do projeto.

Para quantificar a diferença de resultados entre a adoção de soluções CAD e BIM, foi realizada um análise numérica dos projetos desenvolvidos.

4.3.4 - Critério de análise de projetos

Todos os desenhos foram analisados e pontuados numa escala Likert de 1 a 5, sendo 1 a pior qualidade e 5 a melhor qualidade. Foi calculado um desvio padrão (%) para cada produto. Analisou-se os itens da Tabela 10.

Tabela 10 – Critérios de Análise

ITEM ANALISADO	SCORE	DESCRIÇÃO
Representação Gráfica	1 a 5	Representação das informações referentes ao projeto.
Apresentação Humanizada	1 a 5	Humanização dos desenhos para a apresentação da idéia inicial para o cliente.
Notações	1 a 5	Tamanhos de texto, dimensões, sentidos, cotas e as projeções para a boa compreensão do desenho técnico.

4.3.5 - Resultados

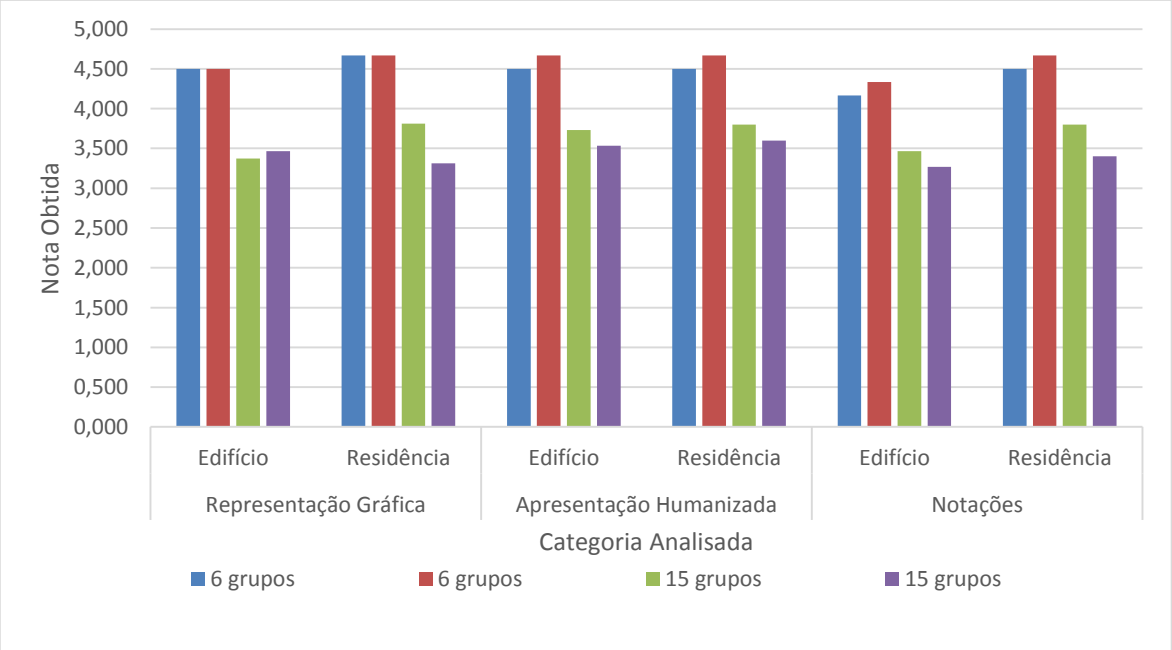
O resultado da análise de cada projeto foi classificada na Tabela 11, com a respectiva avaliação da Representação Gráfica, humanização, apresentação e notação para as equipes BIM e CAD.

Tabela 11 - Nota de avaliação dos produtos desenvolvidos por grupos

		6 grupos		15 grupos	
		Equipes BIM		Equipes CAD	
		Plantas	Cortes e Fachadas	Plantas	Cortes e Fachadas
Representação Gráfica	Edifício	4,500	4,500	3,375	3,467
	Residência	4,667	4,667	3,813	3,313
Apresentação Humanizada	Edifício	4,500	4,667	3,733	3,533
	Residência	4,500	4,667	3,800	3,600
Notações	Edifício	4,167	4,333	3,467	3,267
	Residência	4,500	4,667	3,800	3,400
Média		4,472	4,583	3,665	3,430
Desvio Padrão		3,700	3,000	5,300	3,700

A Figura 5 mostra a avaliação por tecnologia para demonstrar a diferença entre cada produtos e tecnologia empregada. A Figura 27 mostra o escore de notas por produto, para mostrar o impacto da tecnologia.

Figura 27 – Notas obtidas por produto



4.3.6 – Principais aspectos obtidos

A análise dos dados na Tabela 8 e Figura 26 demonstram que o desenvolvimento de um projeto com ferramentas BIM é mais eficiente do que as ferramentas de CAD. A primeira ferramenta teve uma pontuação de 4,5, enquanto o segundo teve uma pontuação média de 3,5. Estes dados demonstram que, para um grupo de usuários com o mesmo conhecimento prévio, a utilização do BIM aumentou a qualidade do produto final.

Analisando o cenário apresentado na Figura 26, é possível perceber que, especificamente para cortes e elevações, o uso de BIM gera um aumento de aproximadamente 35% sobre a qualidade final dos produtos desenvolvidos. Isto pode ser explicado pela interface paramétrica do *software*, que permite a mudança da interface de 2D / 3D, permitindo a realização de um trabalho mais eficiente por parte do utilizador.

Os alunos têm grande dificuldade em executar cortes e fachadas. O uso de BIM tornou esse processo mais didático e eficiente, permitindo que o projeto sofresse ajustes para resolver os problemas apresentados. Os desafios para o uso de ferramentas de PBL em um curso de graduação são muitos. nem todos os alunos têm o mesmo nível de conhecimento, o que interfere significativamente na qualidade dos projetos que são desenvolvidos. Mas a utilização destes ferramenta permite a simulação do que será desenvolvido na vida profissional.

No estudo de caso proposto, o uso de ferramentas BIM demonstrou ser mais eficiente quando comparada com ferramentas CAD. Partindo do princípio que todos os estudantes envolvidos possuía a mesma nível de conhecimento sobre as ferramentas em uso, o uso de BIM prova ser mais eficiente. Tendo em conta que as essências de ferramentas BIM são a integração, a sua utilização em uma graduação abre um leque de possibilidades diferentes de exercícios, permitindo uma melhor simulação do que é desenvolvido na vida real.

CAPÍTULO 5 – DESENVOLVIMENTO DE UM *SOFTWARE* VISANDO A IMPLANTAÇÃO DE FERRAMENTAS BIM EM PEQUENAS EMPRESAS DE AEC

5.1 – Problematização

Os processos de projeto no Brasil estão evoluindo para a implantação, cada vez maior, de soluções BIM, porém, nem sempre para uma pequena empresa da área de arquitetura, engenharia e construção, fica evidente as variáveis que envolvem tal ação. Assim, foi constituído este capítulo que resume a lógica de desenvolvimento de uma aplicação (*software*), a fim de atender ao objetivo secundário da pesquisa de quantificar as variáveis de implantação de soluções BIM em empresas de AEC, transformando a parametrização em um *software* visando auxiliar esta ação.

5.2 – Metodologia

As referências bibliográficas consultadas demonstraram que a implantação BIM requer uma análise de cenário visando compreender melhor quais impactos que tal ação irá gerar para as empresas. Porém, tais autores não definem um método quantitativo para tal. Assim, baseando-se neste pressuposto, foi desenvolvido um método quantitativo, visando nortear a adoção de ferramentas BIM em pequenas empresas de AEC.

O método proposto foi concebido de maneira que pudesse ser implementado através de uma solução de *software*, permitindo que sua utilização pudesse contribuir para o entendimento das variáveis. Desta maneira, o processo foi dividido em duas grandes partes: variáveis de entrada (INPUT), onde o usuário irá inserir informações acerca do seu cenário de produtividade atual e dos seus objetivos com o BIM, e variáveis de saída (OUTPUT), onde, baseado nos dados inseridos, o *software* fará uma análise e elencará as demandas necessárias frente à solicitação do usuário.

5.2.1 - Variáveis de entrada do *software* – INPUT

Inicialmente, o *software* deve permitir a coleta de informações sobre o cenário atual da empresa, para que as métricas possam ser estabelecidas em função dos dados obtidos. Assim, na primeira tela – Tela 1 – Tabela 12 - estão as

informações iniciais com o usuário, com o objetivo de entender o cenário pré-implantação BIM.

Para explicar como as variáveis foram relacionadas entre si, a tabela conta com um endereço, que permite sua localização. Este endereço é único, prefixados pelo número da tela, e permitem permitir ao usuário compreender a relação entre as variáveis. Além disso, estão definidos a informação/descrição e a respectiva unidade da variável.

Assim, as variáveis da tela 1 são prefixadas com o número 1, as da tela 2 com o número 2, e assim, sucessivamente. Este endereçamento fez-se necessário para demonstrar ao usuário as métricas a partir do item 5.2.2.

Tabela 12 – Informações Iniciais da Empresa – **Tela 1**

Endereço da Variável	**Informação**	**Unidade**
1.1	Tempo de vida da empresa	anos
1.2	Tipo de *Software* CAD	unit
1.3	Custo Unitário do *Software* CAD	R$
1.4	Número de *Workstation*s	unit
1.5	Custo das *Workstation*s	R$
1.6	Percentual de Liquidação do Investimento Inicial	%

A fim de compreender os objetivos da implantação BIM, o usuário seleciona quais atividades lhe interessam segundo as variáveis da tela 2 - Tabela 13.

Tabela 13 – Objetivos da implantação BIM – **Tela 2**

Atividades relacionadas a Projeto		
Endereço	**Descrição**	***Software* Relacionado**
2.1	Concepção, Documentação e Visualização do projeto	*Software* A
2.2	Compatibilização e Revisão do projeto	*Software* B
2.3	Análise da eficiência energética e Sustentabilidade	
2.4	Análises de Sistemas Prediais e Estruturais	*Software C*
Atividades relacionadas a Construção		
2.5	Planejamento e logística de canteiro	*Software* D
2.6	Planejamento e controle em 4D	*Software* E
2.7	Coordenação 3D	*Software* F
2.8	Fabricação Digital	*Software* G
2.9	Gestão de Custos	*Software* H
2.10	Mock Ups Virtuais	*Software* I
Atividades relacionadas a Operação e Manutenção		
2.11	Programação de manutenção preventiva	*Software* J
2.12	Análise dos sistemas do edifício	*Software* K
2.13	Gerenciamento do edifício	*Software* L
2.14	Gerenciamento dos espaços	*Software* M
2.15	Plano de Evacuação do edifício	*Software* N
2.16	Modelo Consolidado	*Software* O

Para entender a quantidade e área dos projetos desenvolvidos pela empresa, são analisas as seguintes variáveis da tela 3 - Tabela 14.

Tabela 14 – Quantidade de projetos desenvolvidos nos últimos 12 meses – **Tela 3**.

Endereço	**Descrição**	**Unidade**
3.1	Número de Estudos Preliminares desenvolvidos	unit
3.2	Área total dos Estudos Preliminares desenvolvidos	m²
3.3	Número de Projetos Executivos desenvolvidos	unit
3.4	Área total dos Projetos Executivos desenvolvidos	m²

Para que seja possível compreender o cenário produtivo da empresa, o objetivo da tela 4 – Tabela 15 - é necessário o levantamento das seguintes variáveis de produtividade e desperdícios de tempo nos processos.

Tabela 15 – Tempo gasto no desenvolvimento de projetos e retrabalhos de diferentes profissionais – **Tela 4**

Endereço	**Descrição**	**Unidade**
4.1	Estudos Preliminares – Número de Arquitetos e Engenheiros envolvidos em Estudos Preliminares.	unit
4.2	Estudos Preliminares – Tempo gasto por Arquitetos e Engenheiros no desenvolvimento de Estudos Preliminares.	horas
4.3	Estudos Preliminares – Percentual de Retrabalhos dos Arquitetos e Engenheiros envolvidos em Estudos Preliminares.	%
4.4	Estudos Preliminares – Número de Estagiários envolvidos em Estudos Preliminares.	unit
4.5	Estudos Preliminares – Tempo gasto por Estagiários no desenvolvimento de Estudos Preliminares.	horas
4.6	Estudos Preliminares – Percentual de Retrabalhos dos Estagiários envolvidos em Estudos Preliminares.	%
4.7	Projetos Executivos – Número de Arquitetos e Engenheiros envolvidos em Projetos Executivos.	unit
4.8	Projetos Executivos – Tempo gasto por Arquitetos e Engenheiros no desenvolvimento de Projetos Executivos	horas
4.9	Projetos Executivos – Percentual de Retrabalhos dos Arquitetos e Engenheiros envolvidos em Projetos Executivos.	%
4.10	Projetos Executivos – Número de Estagiários envolvidos em Projetos Executivos.	unit
4.11	Projetos Executivos – Tempo gasto por Estagiários no desenvolvimento de Projetos Executivos.	horas
4.12	Projetos Executivos – Percentual de Retrabalhos dos Estagiários envolvidos em Projetos Executivos.	%
4.13	Custo médio mensal dos Profissionais Engenheiro e Arquiteto.	R$
4.14	Custo médio mensal dos Estagiários.	R$

A fim de levantar a quantidade de profissionais envolvidos e os seus respectivos custos de treinamento, foram levantadas as variáveis da tela 5 – Tabela 16.

Tabela 16 – Demandas de treinamento para implantação BIM – **Tela 5**

Endereço	Descrição	Unidade
5.1	Número de Arquitetos e Engenheiros que receberão o treinamento	unit
5.2	Número de Estagiários que receberão o treinamento	unit
5.3	Custo unitário do treinamento	R$

Caso seja necessária a compra de novo *hardware*, o usuário irá inserir na tela 6 – Tabela 17 – as informações da quantidade de equipamentos e o seu respectivo custo.

Tabela 17 – Custos de *hardware* para implantação BIM – **Tela 6**

Endereço	Descrição	Unidade
6.1	Número de *Workstations* necessárias	unit
6.2	Custo Unitário de cada *Workstation*	R$

5.2.2 – Variáveis de saída e análise do *software* (OUTPUT)

A partir deste ponto são mostrados os resultados e análises métricas em função das informações inseridas em 5.2.1.

5.2.2.1 – Gasto de implantação inicial – *Hardware* e *Software* CAD – Tela 7

Através do cruzamento das informações de quantidade de *workstations* e tipos de *software* utilizados, foi possível estimar, para cada empresa, os gastos iniciais de implantação. Para se obter os valores apontados, foram utilizadas as equações [1], [2], [3] e [4]:

$G_{Inicial-software} = (N_{Workst} x C_{Licenças})$ [1]

$G_{Inicial-hardware} = (N_{Workst} x C_{Hardware})$ [2]

$C_{Total} = G_{inicial-software} + G_{inicial-hardware}$ [3]

$\%_{liquidado} = C_{Total} \times Perc_{Liquidado}$ [4]

Onde:

$G_{inicial\text{-}software}$: Gasto Inicial de *Software*

$G_{inicial\text{-}hardware}$: Gasto Inicial de *Hardware*

N_{worskt}: Número de *workstations*

$C_{licenças}$: Custo das licenças

$C_{hardware}$: Custo do *Hardware*

$C_{total:}$ Custo total do investimento

$\%_{liquidado}$: Percentual do investimento inicial já liquidado

$Perc_{liquidado}$: Percentual parcial do investimento

Para a organização das informações da tela 7, foi concebida uma saída em formato de gráficos, que demonstrassem os gastos iniciais e o quanto deste investimento já fora liquidado.

As Figuras 28 e 29 representam o esquema genérico desta tela, e foi indicado dentro do gráfico o endereço das variáveis utilizadas. As variáveis 1.3, 1.4, 1.5 e 1.6 encontram-se na Tabela 12.

Figura 28 – Gastos iniciais – *Hardware* e *Software* – Esquema Tela 7

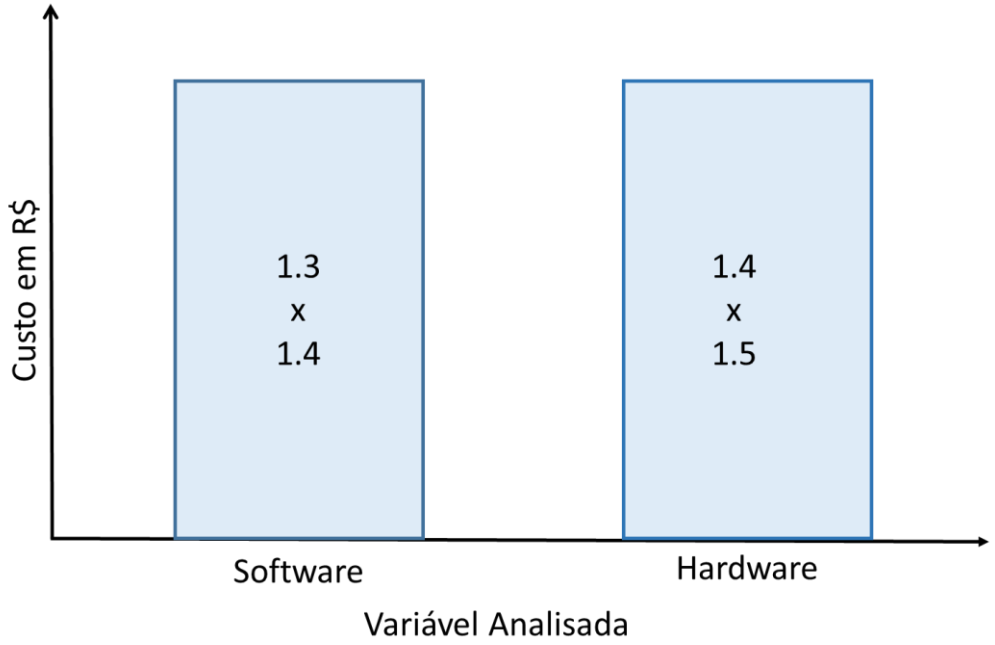
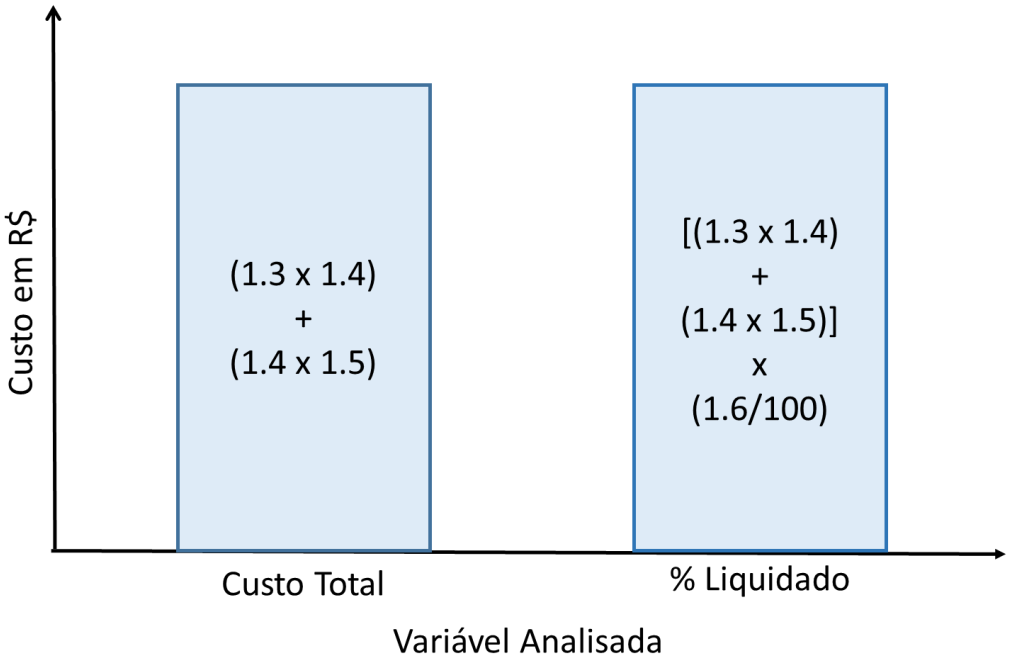


Figura 29 – Custo total e percentual liquidado – Esquema Tela 7



5.2.2.2 – Investimentos em *softwares* BIM nas atividades pretendidas – Tela 8

O objetivo da tela 8 é resumir quais são, para as atividades selecionadas na Tabela 13 – os custos de implantação de *software* frente às atividades de projeto requeridas pelo respondente. Para esta tela, foi concebido uma tabela-resumo com os valores de cada *software* necessário e o custo total deste item dentro da implantação BIM. O esquema da tela 8 encontra-se na Figura 30.

Figura 30 – Investimentos em *softwares* BIM – Esquema da tela 8

Atividade	***Software***	**Custo Parcial**
Atividade de Projeto	*Software i*	x
Atividade de Construção	*Software j*	y
Operação e Manutenção	*Software k*	z
Custo Total		Somatória(x:z)

5.2.2.3 – Produção atual da empresa – Tela 9

Visando analisar o perfil de produção do escritório, o objetivo da tela 9 é mostrar o patamar atual de produtividade da empresa, considerando o tipo de projeto desenvolvido, seja preliminar ou executivo. Para se fazer a análise foram utilizadas as equações [5] e [6].

$A_{Total-EP} = N_{EP} x A_{EP}$ [5]

$A_{Total-EX} = N_{EX} x A_{EX}$ [6]

Onde:

$A_{total-EP}$: Área total de Estudos Preliminares desenvolvidos

$A_{total-EX}$: Área total de Projetos Executivos desenvolvidos

N_{EP}: Número de Estudos Preliminares

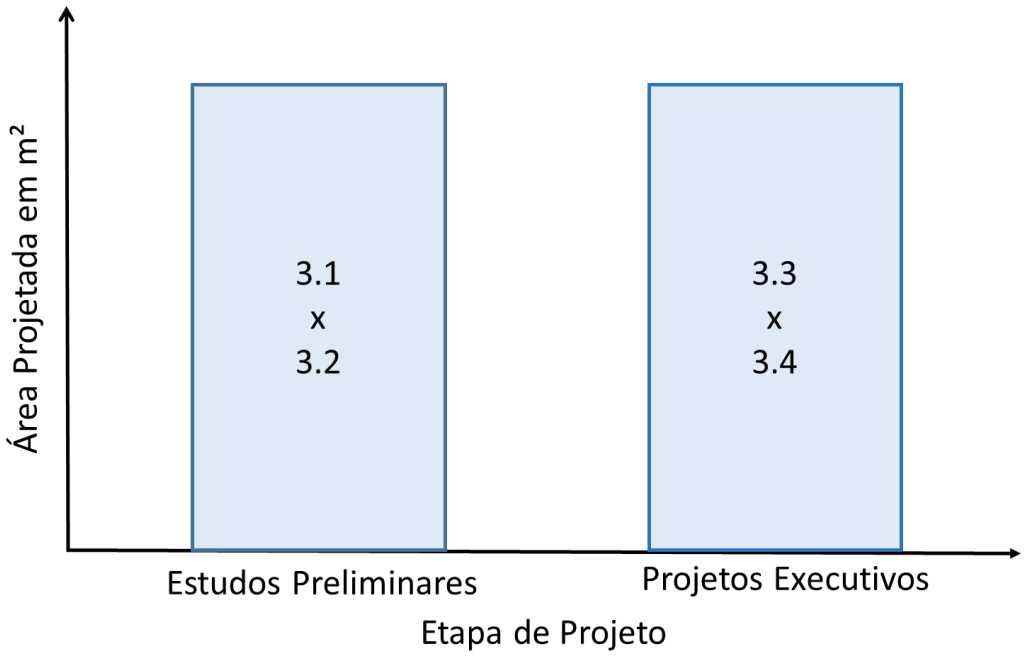
N_{EX}: Número de Projetos Executivos

A_{EP}: Área média dos Estudos Preliminares desenvolvidos

A_{EX}: Área média dos Projetos Executivos desenvolvidos

As variáveis 3.1, 3.2, 3.3 e 3.4 encontram-se na tabela 14 e o esquema da tela 9 encontra-se na figura 31.

Figura 31 – Produção atual da empresa – Esquema tela 9



5.2.2.4 – Tempo bruto despendido atualmente nas etapas de projeto – Tela 10

O objetivo da tela 10 é sintetizar o tempo gasto pelos diferentes profissionais no desenvolvimento de projetos, e quanto tempo se gasta com retrabalhos. Este parâmetro é conceitualmente um dos mais importantes pois evidencia a perda de horas e retrabalhos ainda na fase de projeto.

Para fazer a análise foram utilizadas as equações [7] a [14].

$ARQ_{EP} = N_{Arq-ep} \times T_{Arq-ep}$ [7]

$ARQ_{EP-RET} = (N_{Arq-ep} \times T_{Arq-ep}) \times \frac{ARQ_{ret-ep}}{100}$ [8]

$ARQ_{EX} = N_{Arq-ex} \times T_{Arq-ex}$ [9]

$ARQ_{EX-RET} = (N_{Arq-ex} \times T_{Arq-ex}) \times \frac{ARQ_{ret-ex}}{100}$ [10]

$EST_{EP} = N_{Est-ep} \times T_{Est-ep}$ [11]

$EST_{EP-RET} = (N_{Est-ep} \times T_{Est-ep}) \times \frac{Est_{ret-ep}}{100}$ [12]

$EST_{EX} = N_{Est-ex} \times T_{Est-ex}$ [13]

$EST_{EX-RET} = (N_{Est-ex} \times T_{Est-ex}) \times \frac{Est_{ret-ex}}{100}$ [14]

Onde:

ARQ_{EP}: Tempo gasto por arquitetos/engenheiros no desenvolvimento de Estudos Preliminares

ARQ_{EX}: Tempo gasto por arquitetos/engenheiros no desenvolvimento de Projetos Executivos

ARQ_{EP-RET}: Retrabalho de arquitetos/engenheiros no desenvolvimento de Estudos Preliminares

ARQ_{EX-RET}: Retrabalho de arquitetos/engenheiros no desenvolvimento de Projetos Executivos

N_{Arq-ep}: Número de arquitetos/engenheiros no desenvolvimento de Estudos Preliminares

N_{Arq-ex}: Número de arquitetos/engenheiros no desenvolvimento de Projetos Executivos

T_{Arq-ep}: Tempo gasto por arquitetos/engenheiros no desenvolvimento de Estudos Preliminares

T_{Arq-ex}: Tempo gasto por arquitetos/engenheiros no desenvolvimento de Projetos Executivos

EST_{EP}: Tempo gasto por estagiários no desenvolvimento de Estudos Preliminares

EST_{EX}: Tempo gasto por estagiários no desenvolvimento de Projetos Executivos

EST_{EP-RET}: Retrabalho de estagiários no desenvolvimento de Estudos Preliminares

EST_{EX-RET}: Retrabalho de estagiários no desenvolvimento de Projetos Executivos

N_{Est-ep}: Número de estagiários no desenvolvimento de Estudos Preliminares

N_{est-ex}: Número de estagiários no desenvolvimento de Projetos Executivos

T_{Est-ep}: Tempo gasto por estagiários no desenvolvimento de Estudos Preliminares

T_{Est-ex}: Tempo gasto por estagiários no desenvolvimento de Projetos Executivos

Assim, a proposta desta tela endereça as variáveis colhidas na Tabela 15 e estão esquematizadas nas Figuras 32 e 33.

Figura 32 – Tempo gasto em projetos e retrabalhos – Arquitetos e Engenheiros – Esquema tela 10

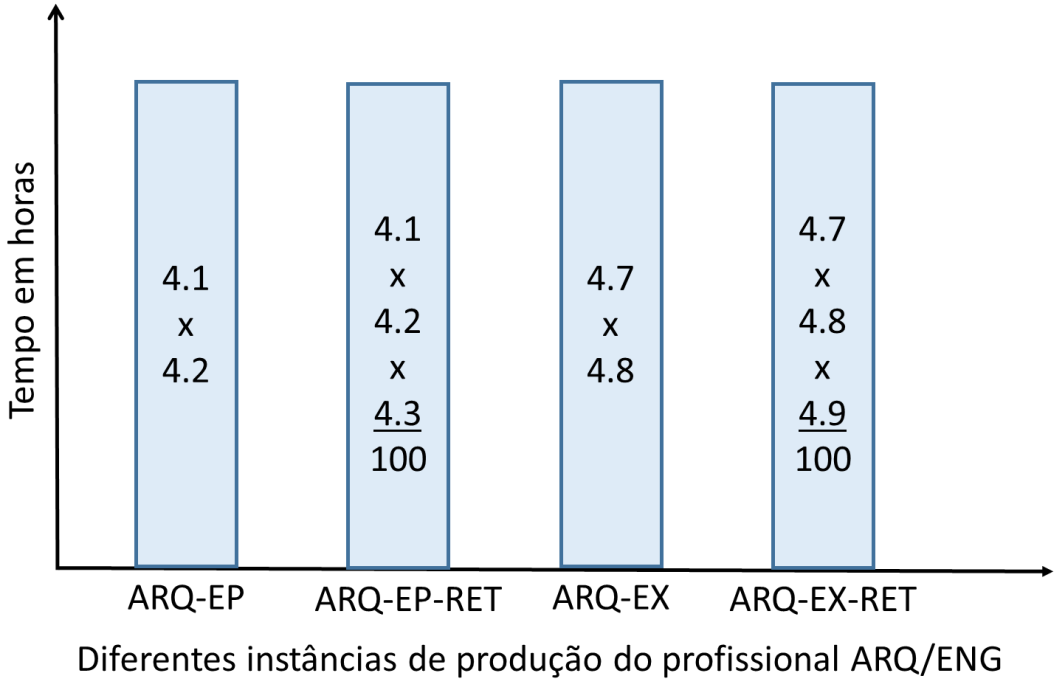
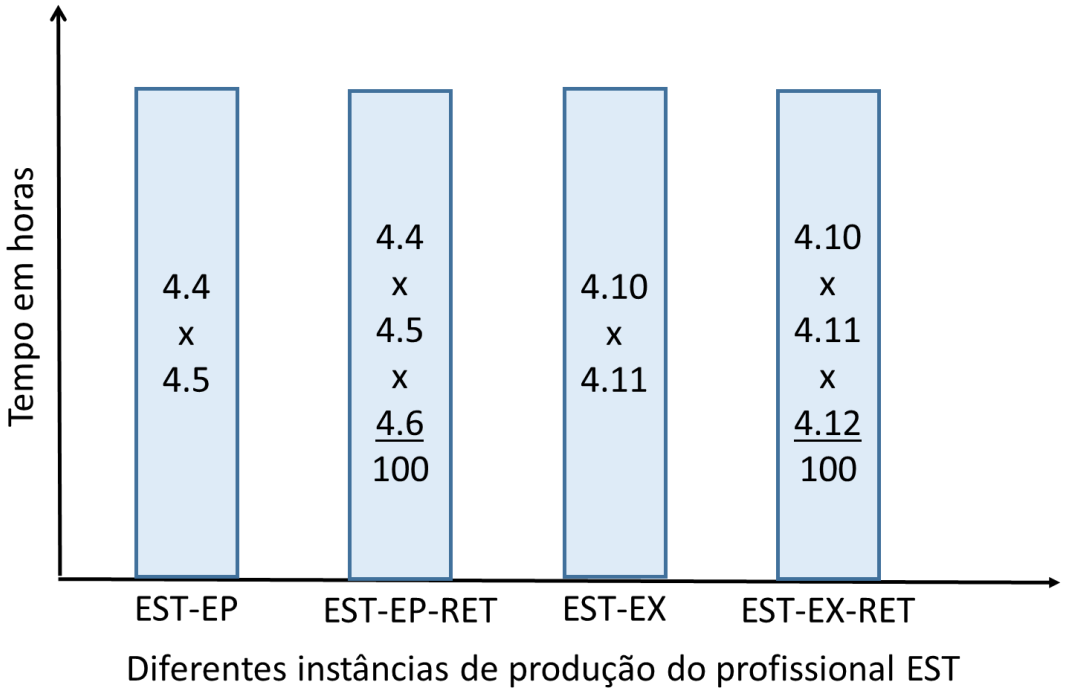


Figura 33 – Tempo gasto em projetos e retrabalhos – Estagiários – Esquema tela 10



5.2.2.5 – Índices de produtividade da empresa no cenário atual – Tela 11

Para que o usuário entenda o grau de produtividade atual e quais mudanças ocorrem com a implantação BIM, o objetivo da tela 11 é definir os índices de

produtividade atuais, analisando os agentes envolvidos e o tipo de projeto desenvolvido.

Para definição dos coeficientes foram utilizadas as equações [15] a [18].

$$EP\ ARQ_{\ prod} = \frac{N_{arq-ep} \times T_{arq-ep}}{N_{EP} \times A_{EP} \times 0{,}5} \quad [15]$$

$$EP\ EST_{\ prod} = \frac{N_{est-ep} \times T_{est-ep}}{N_{EP} \times A_{EP} \times 0{,}5} \quad [16]$$

$$EX\ ARQ_{\ prod} = \frac{N_{arq-ex} \times T_{arq-ex}}{N_{EX} \times A_{EX} \times 0{,}5} \quad [17]$$

$$EX\ EST_{\ prod} = \frac{N_{est-eX} \times T_{est-ex}}{N_{EX} \times A_{EX} \times 0{,}5} \quad [18]$$

Onde:

EP ARQ $_{prod:}$ Produtividade média dos arquitetos/engenheiros em estudos preliminares

EP EST $_{prod}$: Produtividade média dos estagiários em estudos preliminares

EX ARQ $_{prod:}$ Produtividade média dos arquitetos/engenheiros em projetos executivos

EX EST $_{prod}$: Produtividade média dos estagiários em projetos executivos

N_{Arq-ep}: Número de arquitetos/engenheiros no desenvolvimento de Estudos Preliminares

N_{Arq-ex}: Número de arquitetos/engenheiros no desenvolvimento de Projetos Executivos

T_{Arq-ep}: Tempo gasto por arquitetos/engenheiros no desenvolvimento de Estudos Preliminares

T_{Arq-ex}: Tempo gasto por arquitetos/engenheiros no desenvolvimento de Projetos Executivos

N_{Est-ep}: Número de estagiários no desenvolvimento de Estudos Preliminares

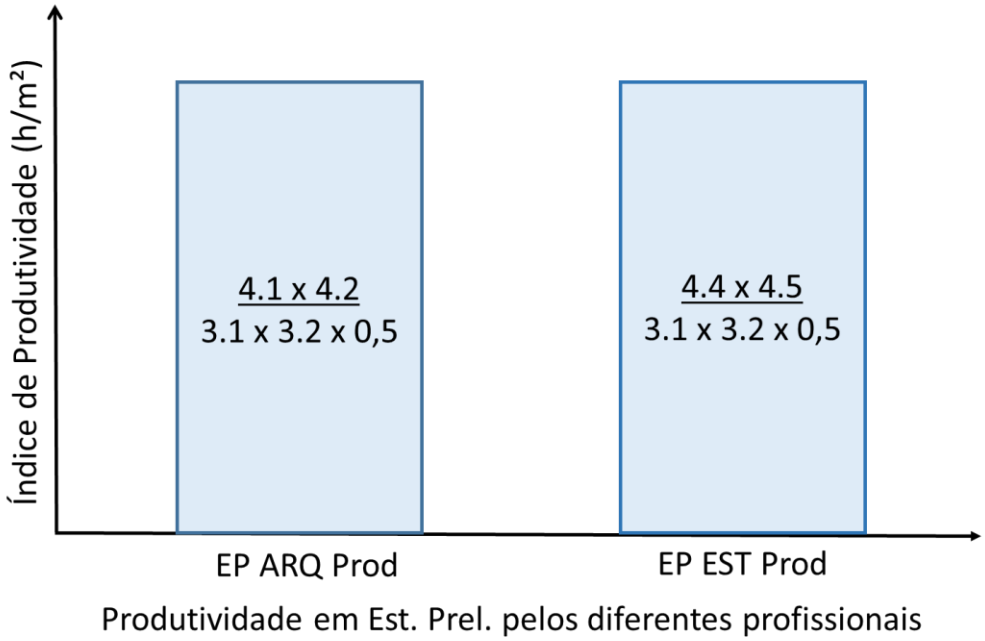
N_{est-ex}: Número de estagiários no desenvolvimento de Projetos Executivos

T_{Est-ep}: Tempo gasto por estagiários no desenvolvimento de Estudos Preliminares

T_{Est-ex}: Tempo gasto por estagiários no desenvolvimento de Projetos Executivos

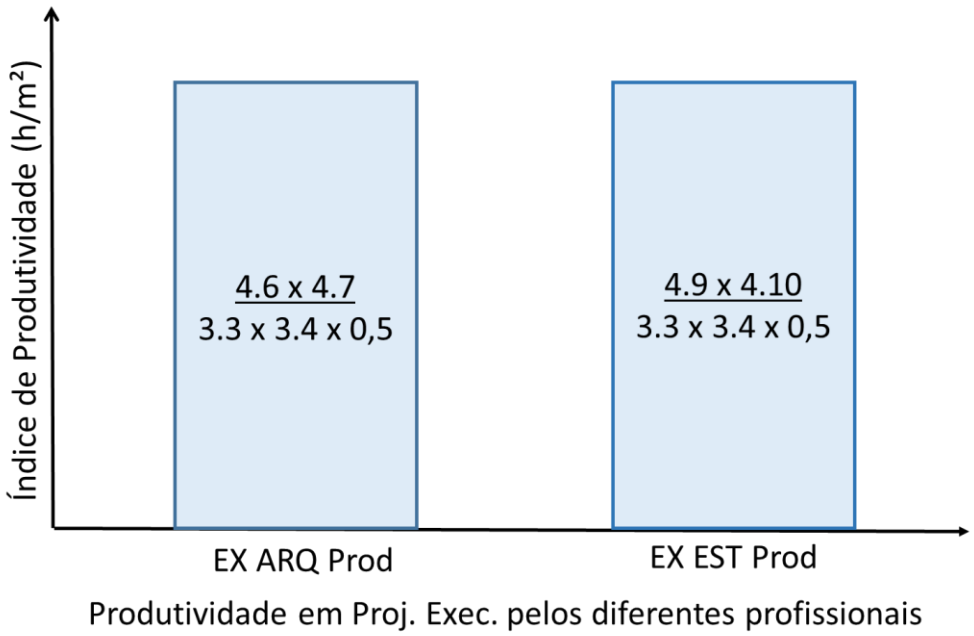
As informações levantadas foram organizados conforme o esquema das Figuras 34 e 35. As variáveis 3.1, 3.2, 3.3 e 3.4 encontram-se na Tabela 14, e as variáveis 4.1, 4.2, 4.4, 4.5, 4.6, 4.7, 4.9 e 4.10 encontram-se na Tabela 15.

Figura 34 – Índices de produtividade para Estudos Preliminares, em função dos diferentes profissionais envolvidos



.

Figura 35 – Índices de produtividade para Projetos Executivos, em função dos diferentes profissionais envolvidos



5.2.2.6 – Estimativa de produtividade no cenário BIM – Tela 12

Para obtenção da estimativa da produtividade no cenário BIM, foram utilizados os dados obtidos no artigo 5, que sinalizam que para os estudos preliminares as soluções BIM apresentam-se 3,52 vezes mais eficazes do que as soluções

CAD, enquanto para os projetos executivos este índice é de 1,46 vezes mais eficaz. Os resultados da estimativa são apresentados na tela 12. As equações [19] a [22] demonstram os cálculos realizados.

$$BIM\ EP\ ARQ_{prod} = \frac{N_{arq-ep} \times T_{arq-ep}}{N_{EP} \times A_{EP} \times 0{,}5} \times 3{,}52 \quad [19]$$

$$BIM\ EP\ EST_{prod} = \frac{N_{est-ep} \times T_{est-ep}}{N_{EP} \times A_{EP} \times 0{,}5} \times 3{,}52 \quad [20]$$

$$BIM\ EX\ ARQ_{prod} = \frac{N_{arq-ex} \times T_{arq-ex}}{N_{EX} \times A_{EX} \times 0{,}5} \times 1{,}46 \quad [21]$$

$$BIM\ EX\ EST_{prod} = \frac{N_{est-eX} \times T_{est-ex}}{N_{EX} \times A_{EX} \times 0{,}5} \times 1{,}46 \quad [22]$$

Onde:

N_{Arq-ep}: Número de arquitetos/engenheiros no desenvolvimento de Estudos Preliminares

N_{Arq-ex}: Número de arquitetos/engenheiros no desenvolvimento de Projetos Executivos

T_{Arq-ep}: Tempo gasto por arquitetos/engenheiros no desenvolvimento de Estudos Preliminares

T_{Arq-ex}: Tempo gasto por arquitetos/engenheiros no desenvolvimento de Projetos Executivos

N_{Est-ep}: Número de estagiários no desenvolvimento de Estudos Preliminares

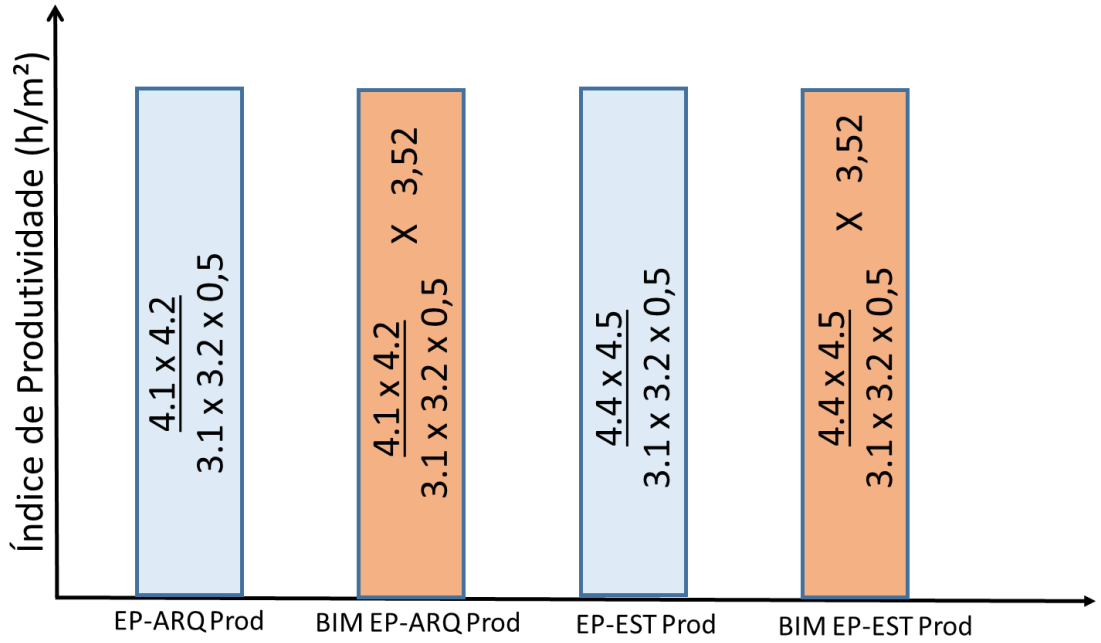
N_{est-ex}: Número de estagiários no desenvolvimento de Projetos Executivos

T_{Est-ep}: Tempo gasto por estagiários no desenvolvimento de Estudos Preliminares

T_{Est-ex}: Tempo gasto por estagiários no desenvolvimento de Projetos Executivos

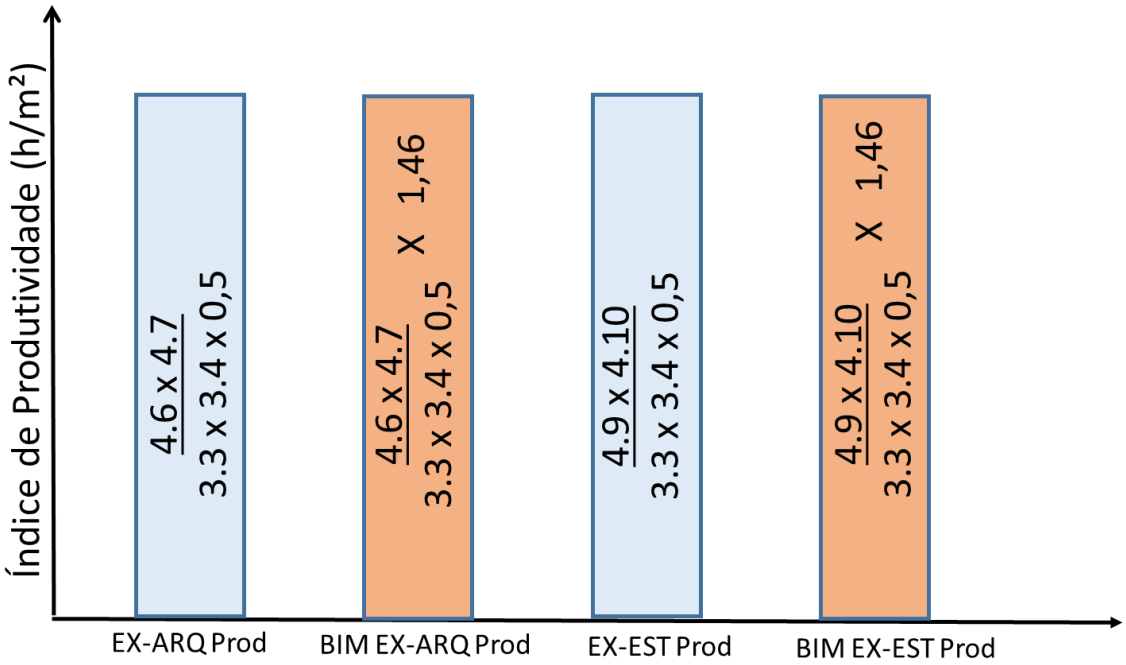
As variáveis 3.1, 3.2, 3.3 e 3.4 encontram-se na Tabela 14, e as variáveis 4.1, 4.2, 4.4, 4.5, 4.6, 4.7, 4.9 e 4.10, por sua vez, na Tabela 15. Os resultados obtidos foram organizados conforme o esquema das Figuras 36 e 37.

Figura 36 – Estimativa de produtividade no cenário BIM – Estudos Preliminares – Esquema tela 12



Produtividade atual nos Estudos Preliminares e sua estimativa no cenário BIM pelos diferentes profissionais

Figura 37 – Estimativa de produtividade no cenário BIM – Estudos Preliminares – Esquema tela 12



Produtividade atual nos Projetos Executivos e sua estimativa no cenário BIM pelos diferentes profissionais

5.2.2.7 – Custo anual do retrabalho e estimativa no cenário BIM – Tela 13

O objetivo da tela 13 é sintetizar um dos problemas mais citados na bibliografia nacional, que se refere ao custo das perdas de retrabalhos dentro do setor da construção civil. Os dados obtidos no Artigo 5 demonstram que os custos do retrabalho, no cenário BIM, são 2,22 vezes menores do que no cenário CAD. Visando entender as cifras referentes aos custos de retrabalho no desenvolvimento de projetos, utilizando as equações [23] a [26].

$$C_{RETR-ARQ} = \frac{Custo_{Arq}}{160} \times (ARQ_{EP-RET} + ARQ_{EX-RET})$$ [23]

$$C_{RETR-EST} = \frac{Custo_{EST}}{120} \times (EST_{EP-RET} + EST_{EX-RET})$$ [24]

$$C_{RETR-ARQ-BIM} = \frac{C_{RETR-ARQ}}{2,22}$$ [25]

$$C_{RETR-EST-BIM} = \frac{C_{RETR-EST}}{2,22}$$ [26]

Onde:

$C_{RETR-ARQ}$: Custo do retrabalho de arquitetos/engenheiros

$C_{RET-EST}$: Custo do retrabalho de estagiários

$C_{RET-ARQ-BIM}$: Custo do retrabalho de arquitetos/engenheiros no cenário BIM

$C_{RET-EST-BIM}$: Custo do retrabalho de estagiários no cenário BIM

ARQ_{EP-RET}: Retrabalho de arquitetos/engenheiros no desenvolvimento de Estudos Preliminares

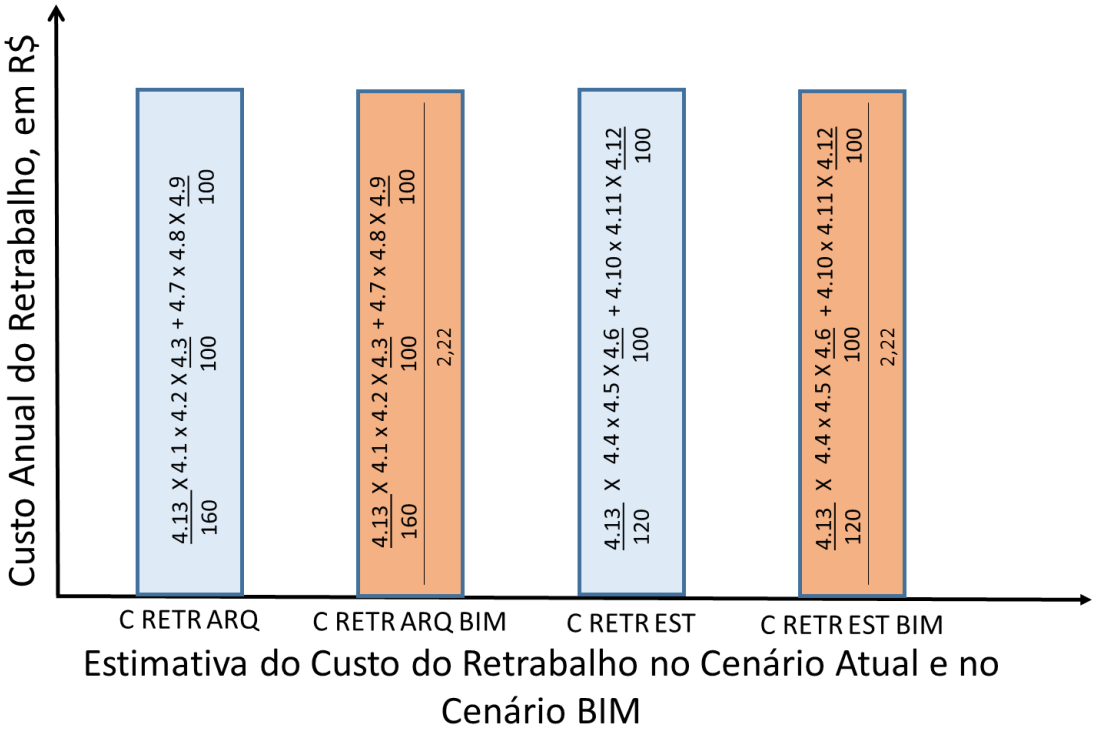
ARQ_{EX-RET}: Retrabalho de arquitetos/engenheiros no desenvolvimento de Projetos Executivos

$Custo_{EST}$: Custo mensal dos estagiários

$Custo_{ARQ}$: Custo mensal dos arquitetos/engenheiros

As variáveis 4.1 a 4.13 encontram-se na Tabela 15. Elas foram organizadas conforme o esquema da Figura 38.

Figura 38 – Custo anual do retrabalho e estimativa no cenário BIM – Esquema tela 13



5.5.2.8 – Resumo dos custos para implantação BIM – Tela 14

Visando condensar as informações e custos levantados até este ponto, o objetivo da tela 14 é demonstrar, através de um quadro, quais são os custos que envolvem a implantação BIM sob 3 aspectos: *hardware*, *software* e treinamentos, que seriam, a princípio, os principais custos que irão impactar na implantação em uma pequena empresa de AEC.

Foram utilizadas as seguinte equações para a determinação dos custos:

$C_{software} = Custo_{Soft} \times N_{workst}$ [27]

$C_{hardware} = Custo_{hard} \times N_{workst}$ [28]

$C_{treinamento} = Custo_{trein} \times (N_{Arq} + N_{Est})$ [29]

$C_{total} = C_{software} + C_{hardware} + C_{treinamento}$ [30]

Onde:

C_{total}: Custo total

$C_{software}$: Custo total dos *softwares*

$C_{hardware}$: Custo total de *hardware*

$C_{treinamento}$: Custo total de treinamentos

$Custo_{soft}$: Custo total dos *softwares* conforme Tabela 30

$Custo_{hard}$: Custo unitário do *hardware*

$Custo_{trein}$: Custo unitário do treinamento

N_{workst}: Número de *workstations*

N_{arq}: Número de arquitetos e engenheiros

N_{est}: Número de estagiários

Os dados obtidos desta análise foram esquematizados na Figura 39.

Figura 39 – Custos para Implantação BIM – Esquema Tela 14

Hardware	Custo i
Software	Custo j
Treinamentos	Custo k
Total	Soma (i:k)

5.5.2.9 – Retorno dos investimentos da implantação BIM – Tela 15

A tela 15, por fim, busca definir em quanto tempo que a empresa de AEC irá ter o retorno dos investimentos realizados na implantação BIM. Para tanto foram utilizados o custo total de implantação, encontrado na tela 14, e realizada o cálculo da economia com retrabalhos através das equações [31] e [32].

$Econ_{Retrab} = Custo_{Ret-CAD} - Custo_{Ret-BIM}$ [31]

$Ret_{Inv} = \frac{C_{impl}}{Econ_{Retr}}$ [32]

Onde:

$Econ_{retrab}$: Economia com retrabalhos

$Custo_{Ret\text{-}CAD}$: Custo do retrabalho no cenário CAD

$Custo_{Ret\text{-}BIM}$: Custo do retrabalho no cenário BIM

Ret_{inv}: Retorno dos investimentos

O esquema da tela 15 segue abaixo na figura 40

Figura 40 – Cenário de Retorno dos Investimentos da Implantação BIM – Esquema Tela 15

Custos de Implantação	i
Economia com Retrabalhos	j
Retorno dos Investimentos	i/j

5.3 – Construção do *Software*

5.3.1 - Descrição

O *software* BIM Analysis® foi concebido como aplicação de internet (Web), hospedada em um servidor tipo nuvem. Com a utilização cada vez maior de aparelhos móveis, como *tablets* e celulares, este aplicativo foi concebido de maneira a ser acessado tanto de dispositivos móveis quantos computadores tipo PC. A linguagem de programação utilizada foi PHP, com framework codeigniter, banco de dados MySQL.

5.3.2 - Hospedagem

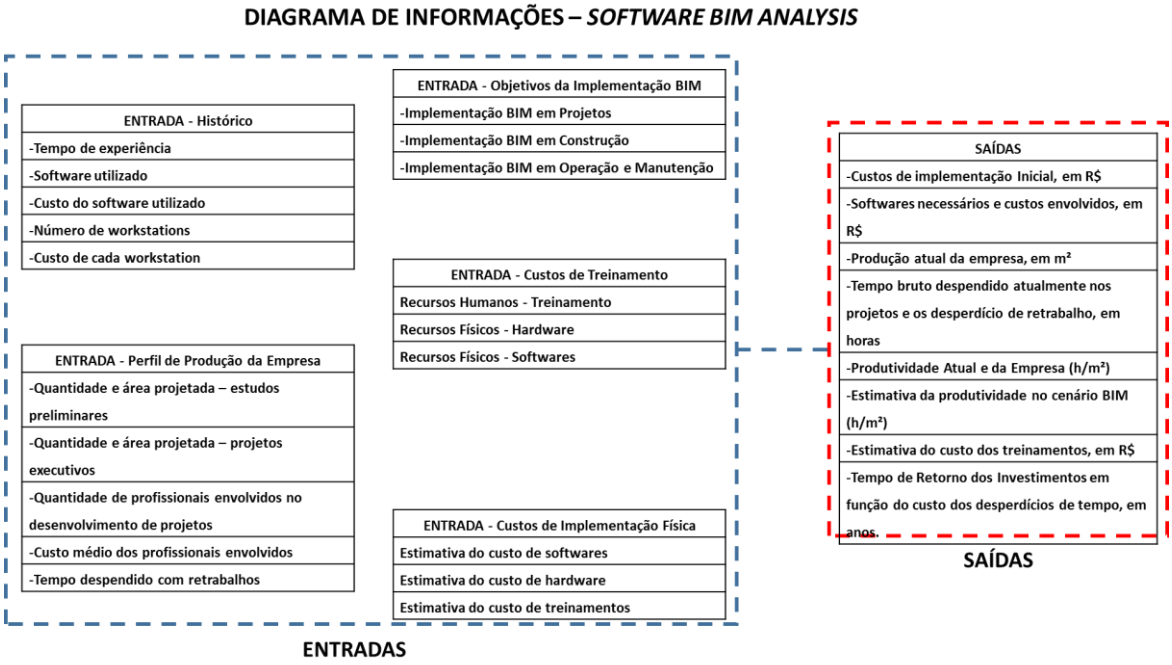
Para a hospedagem foi utilizado um servidor web, no seguinte endereço: http://fabiorvs.com/projetos/samuel/dashboard.

5.3.3 – Estrutura da ferramenta

A coleta de informações seguiu o esquema da Figura 41. Como organização, o *software* foi concebido em duas interfaces, sendo a primeira de inserção de informações pelo usuário, e uma outra de gerenciamento das respostas. Assim, o usuário entra, em uma tela, com as informações necessárias, e o feedback é dado posteriormente, pelo gerenciador da ferramenta.

Esta decisão foi tomada para garantir a integridade das informações e para que fosse possível a realização de uma análise, e assim, gerar um relatório final com os resultados obtidos, focando na interpretação dos resultados.

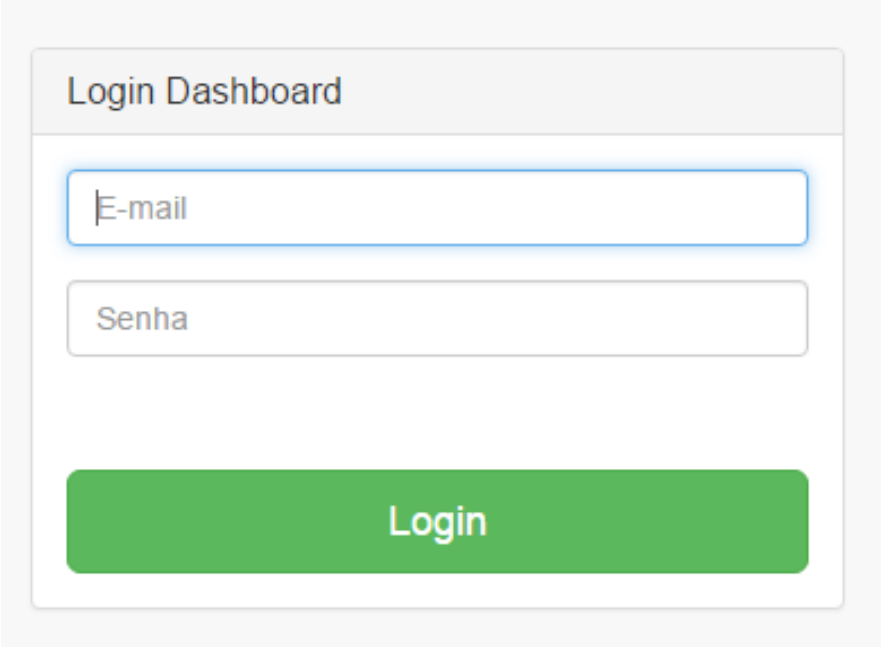
Figura 41 – Estrutura de Coleta de Informações do *software* BIM Analysis®



5.3.3.1 – Interface do administrador

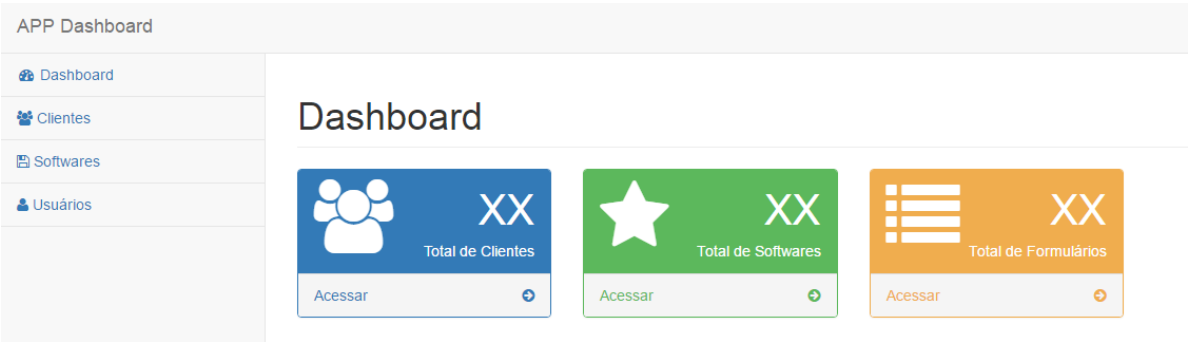
A interface do administrador possui acesso restrito através de login e senha. O administrador pode nomear gestores que podem também fazer a gestão das informações, porém, esta interface não seria acessada por um usuário. A figura 42 esquematiza a tela de login do *software* BIM Analysis®.

Figura 42 – Tela de entrada – *Software* BIM Analysis®



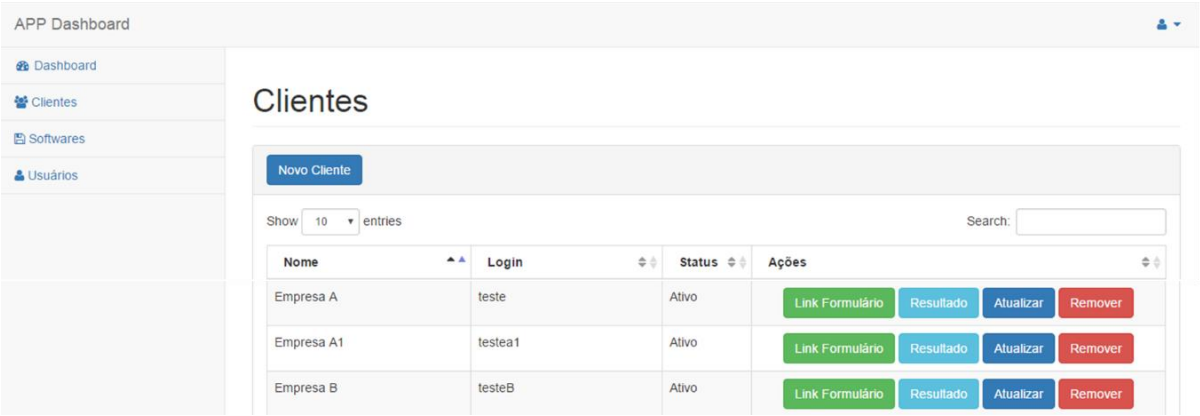
Entrando com *login* e senha, o administrador ou gestor entra na tela de gerenciamento, que possui o layout conforme Figura 43. No canto superior esquerdo, aparece o menu da aplicação – Dashboard – que consiste na tela de gerenciamento, e 3 sub-menus, que são o Clientes, onde é possível cadastrar e o gerenciamento das informações inseridas, *softwares*, onde ficam as informações sobre os custos dos *softwares*, e a aba usuários, que permite o gerenciamento dos usuários.

Figura 43 – Tela de gerenciamento das informações – *Software* BIM Analysis®



Especificamente no sub-menu Clientes (Figura 44) localiza-se o centro de gerenciamento dos clientes e usuários, onde é possível gerar os clientes que serão analisados. Para cada usuário a aplicação gera, randomicamente, um endereço através do botão “Link Formulário”, onde abre-se um endereço web que pode ser enviado ao cliente. Através dele o mesmo poderá responder as perguntas, que ficarão armazenadas dentro do banco de dados. Já no botão resultados é possível ver os gráficos com a análise realizada sobre as respostas dadas.

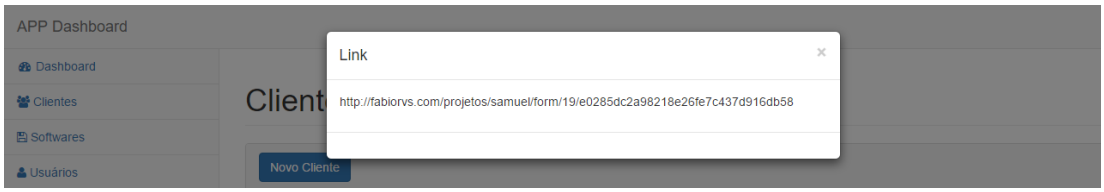
Figura 44 – Tela de gerenciamento dos clientes – *Software* BIM Analysis®



Ao clicar sobre o botão link formulário, o sistema mostra o endereço web que o cliente poderá acessar a fim de inserir as informações (Figura 45). Ao entrar

com o endereço fornecido, é aberta a interface do cliente, que será descrita no item 5.3.3.2.

Figura 45 – Tela de endereçamento dos clientes – *Software* BIM Analysis®



5.3.3.2 – Interface do Cliente

A partir do endereço fornecido, cada cliente consegue acessar um formulário específico, onde pode entrar com as informações necessárias para o entendimento das suas demandas atuais, e o que significará a adoção de ferramentas BIM. A tela de entrada se encontra na Figura 46.

Figura 46 – Tela de endereçamento dos clientes – *Software* BIM Analysis®

Selecione uma etapa:

1 - CARACTERIZAÇÃO DA EMPRESA E DA IMPLEMENTAÇÃO DE FERRAMENTAS BIM

2 - OBJETIVOS DA IMPLEMENTAÇÃO DE FERRAMENTAS BIM

3 - PRODUÇÃO ATUAL ESTIMADA DA EMPRESA

4 - EQUIPE ATUAL DA EMPRESA

5 - RECURSOS HUMANOS PARA IMPLEMENTAÇÃO DO BIM

6 - RECURSOS FÍSICOS PARA IMPLEMENTAÇÃO DO BIM

Na inserção de informações, a etapa 1 consiste no levantamento das informações de caracterização da empresa, para entendimento do cenário atual de desenvolvimento da mesma e as soluções de informática utilizadas. A Figura 44 lista as informações colhidas nesta tela.

Já a segunda tela (Figura 48) é responsável pela definição de quais são os objetivos que a empresa tem na implantação BIM. Estas informações nortearão a definição dos custos necessários. Na terceira tela (Figura 49), o usuário entra com as informações sobre a produção atual estimada da empresa. A partir destes dados será fornecido o panorama atual de produtividade da mesma.

Figura 47 – Tela 1 – Caracterização da Empresa - *Software* BIM Analysis®

TELA 1 - CARACTERIZAÇÃO DA EMPRESA E DA IMPLEMENTAÇÃO DE FERRAMENTAS BIM

Objetivos desta tela:

Verificar se os custos de implementação do escritório estão já pagos. Desta maneira, o investimento seria apenas nas ferramentas BIM, do contrário, terão de ser somados os custos desta implementação

HISTÓRICO DE IMPLEMENTAÇÃO DE SOFTWARE E HARDWARE

Qual o tempo (anos) de mercado da empresa?

Qual o software CAD para desenvolvimento de projetos utilizado na empresa?

Qual foi o custo unitário de cada licença adquirida?

0,00

Qual é o número de Workstations do escritório que possuem licenças CAD?

Qual foi o custo médio de cada Workstation?

0,00

Do investimento realizado para a compra do software CAD e das workstations, que percentual já foi totalmente liquidado?

Continuar Voltar

Figura 48 – Tela 2 – Objetivos da implantação BIM - *Software* BIM Analysis®

TELA 2 - OBJETIVOS DA IMPLEMENTAÇÃO DE FERRAMENTAS BIM

Objetivos desta tela:

Demonstrar que a implantação de Ferramentas BIM requer um tempo de operacionalização, defendido pelos especialistas da área

Dentro dos projetos desenvolvidos pela empresa, em quais ela pretende implementar as ferramentas BIM. O ideal é que ela escolha um dos segmentos e inicie a implementação, sem comprometer o andamento das atividades correntes da empresa

Dentro dos projetos desenvolvidos pela empresa, em quais ela pretende implementar as ferramentas BIM. O ideal é que ela escolha um dos segmentos e inicie a implementação, sem comprometer o andamento das atividades correntes da empresa

Os Objetivos principais e secundários da empresa com a implementação do BIM devem ser definidos considerando aonde a empresa quer chegar, qual a meta de utilização do BIM para a empresa, qual o produto ela pretende entregar, para quais usos a empresa pretende utilizar o BIM, em quais projetos ela pretende implementar a solução e qual o tempo para isso, além dos benefícios oriundos desta adoção (ASBEA, 2014)

Quais atividades relacionadas a Projeto a empresa pretende desenvolver utilizando BIM? Asbea (2015).

- Concepção, Documentação e Visualização do projeto
- Compatibilização e Revisão do projeto
- Análise da eficiência energética e Sustentabilidade
- Análises de Sistemas Prediais e Estruturais

Quais atividades relacionadas a Construção a empresa pretende desenvolver utilizando BIM? Asbea(2015).

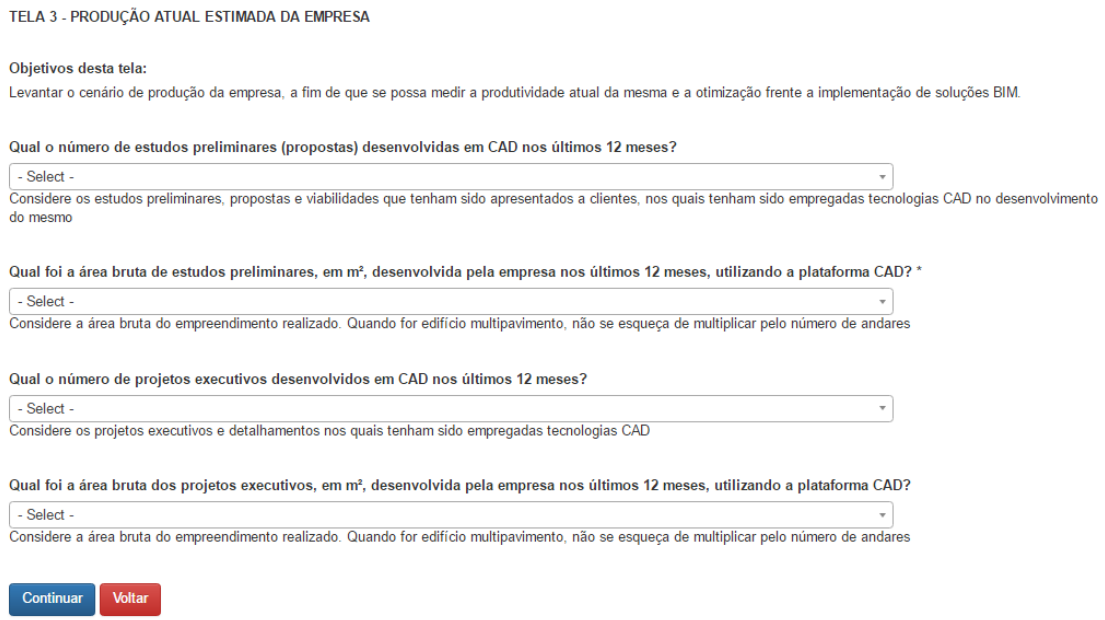
- Planejamento e logística de canteiro
- Planejamento e controle em 4D
- Coordenação 3D
- Fabricação Digital
- Gestão de Custos
- Mock Ups Virtuais

Quais atividades relacionadas a Operação e Manutenção a empresa pretende desenvolver utilizando BIM? Asbea (2015)

- Programação de manutenção preventiva
- Análise dos sistemas do edifício
- Gerenciamento do edifício
- Gerenciamento dos espaços
- Plano de Evacuação do edifício
- modelo consolidado

Continuar Voltar

Figura 49 – Tela 3 – Produção atual da empresa - *Software* BIM Analysis®


TELA 3 - PRODUÇÃO ATUAL ESTIMADA DA EMPRESA

Objetivos desta tela:

Levantar o cenário de produção da empresa, a fim de que se possa medir a produtividade atual da mesma e a otimização frente a implementação de soluções BIM.

Qual o número de estudos preliminares (propostas) desenvolvidas em CAD nos últimos 12 meses?

- Select -

Considere os estudos preliminares, propostas e viabilidades que tenham sido apresentados a clientes, nos quais tenham sido empregadas tecnologias CAD no desenvolvimento do mesmo

Qual foi a área bruta de estudos preliminares, em m², desenvolvida pela empresa nos últimos 12 meses, utilizando a plataforma CAD? *

- Select -

Considere a área bruta do empreendimento realizado. Quando for edifício multipavimento, não se esqueça de multiplicar pelo número de andares

Qual o número de projetos executivos desenvolvidos em CAD nos últimos 12 meses?

- Select -

Considere os projetos executivos e detalhamentos nos quais tenham sido empregadas tecnologias CAD

Qual foi a área bruta dos projetos executivos, em m², desenvolvida pela empresa nos últimos 12 meses, utilizando a plataforma CAD?

- Select -

Considere a área bruta do empreendimento realizado. Quando for edifício multipavimento, não se esqueça de multiplicar pelo número de andares

Continuar Voltar

Na quarta tela o usuário entra com as informações sobre a equipe de projetos e de como ela se divide na execução dos estudos preliminares e projetos executivos, dando um panorama do total de tempo gasto no desenvolvimento destes produtos. O esquema desta tela encontra-se na Figura 50.

Para definir qual será o formato da implantação BIM, na tela 5 (Figura 51), o usuário escolhe se irá montar uma nova equipe e infraestrutura para trabalhar com o BIM, ou se irá treinar e utilizar uma infraestrutura existente. Estas informações são importantes para definição dos custos.

Na sexta tela (Figura 52), levanta-se as informações referentes aos recursos físicos necessários para a implantação BIM. Os custos envolvem a necessidade de compra de novos computadores e treinamento para os profissionais da empresa. A partir deste ponto o *software* retorna para a tela inicial e a inserção de informações, por parte do cliente, finaliza.

Figura 50 – Tela 4 – Equipe atual - *Software* BIM Analysis®

TELA 4 - EQUIPE ATUAL DA EMPRESA

Objetivos desta tela:
Determinar os profissionais envolvidos nos processos de projeto, de maneira a estimar o impacto dos mesmos nos custos da empresa e na produtividade atual, para verificação dos impactos na adoção de soluções BIM.

Qual o número de arquitetos e engenheiros envolvidos no desenvolvimento de estudos preliminares (propostas/viabilidades) nos últimos 12 meses?
- Select -
Elenque os projetistas envolvidos em todas as etapas para o desenvolvimento das atividades

Qual foi o tempo médio despendido por cada profissional, em horas, nos estudos preliminares desenvolvidos nos últimos 12 meses na plataforma CAD?
- Select -

Das horas despendidas na realização de projetos do item anterior, que percentual você acredita ser relacionado a retrabalhos e ajustes de projeto em estudos preliminares?
- Select -
Estime qual a porcentagem de horas que cada projetista gasta fazendo ajustes em projetos já desenvolvidos

Qual o número de auxiliares/estagiários envolvidos no desenvolvimento de estudos preliminares e detalhamentos nos últimos 12 meses?
- Select -
Elenque os projetistas envolvidos em todas as etapas para o desenvolvimento das atividades

Qual foi o tempo médio despendido por auxiliar/estagiário, em horas, nos estudos preliminares desenvolvidos nos últimos 12 meses na plataforma CAD?
- Select -

Das horas despendidas na realização de projetos do item anterior, que percentual você acredita ser relacionado a retrabalhos e ajustes de projeto em estudos preliminares?
- Select -
Estime qual a porcentagem de horas que cada projetista gasta fazendo ajustes em projetos já desenvolvidos

Na sua empresa, qual o número de arquitetos/engenheiros envolvidos no desenvolvimento de Projetos Executivos nos últimos 12 meses?
- Select -
Elenque os projetistas envolvidos em todas as etapas para o desenvolvimento das atividades

Na sua empresa, qual o número de arquitetos/engenheiros envolvidos no desenvolvimento de Projetos Executivos nos últimos 12 meses?
- Select -
Elenque os projetistas envolvidos em todas as etapas para o desenvolvimento das atividades

Qual foi o tempo médio despendido por profissional, do item anterior, em horas, nos Projetos Executivos, desenvolvidos nos últimos 12 meses na plataforma CAD?
- Select -

Das horas despendidas na realização de projetos do item anterior, que percentual você acredita ser relacionado a retrabalhos e ajustes de Projetos Executivos?
- Select -
Estime qual a porcentagem de horas que cada projetista gasta fazendo ajustes em projetos já desenvolvidos

Na sua empresa, qual o número de estagiários e técnicos envolvidos no desenvolvimento de projetos executivos e detalhamentos nos últimos 12 meses?
- Select -
Elenque os projetistas envolvidos em todas as etapas para o desenvolvimento das atividades

Qual foi o tempo médio despendido por técnico/estagiário, em horas, nos projetos executivos desenvolvidos nos últimos 12 meses na plataforma CAD?
- Select -

Das horas despendidas na realização de projetos do item anterior, que percentual você acredita ser relacionado a retrabalhos e ajustes em projetos executivos?
- Select -
Estime qual a porcentagem de horas que cada projetista gasta fazendo ajustes em projetos já desenvolvidos

Qual o custo médio do profissional Arquiteto para a Empresa?
0,00

Qual o custo médio do profissional Estagiário/Técnico para a Empresa?
0,00

Continuar Voltar

Figura 51 – Tela 5 – Recursos humanos - *Software* BIM Analysis®

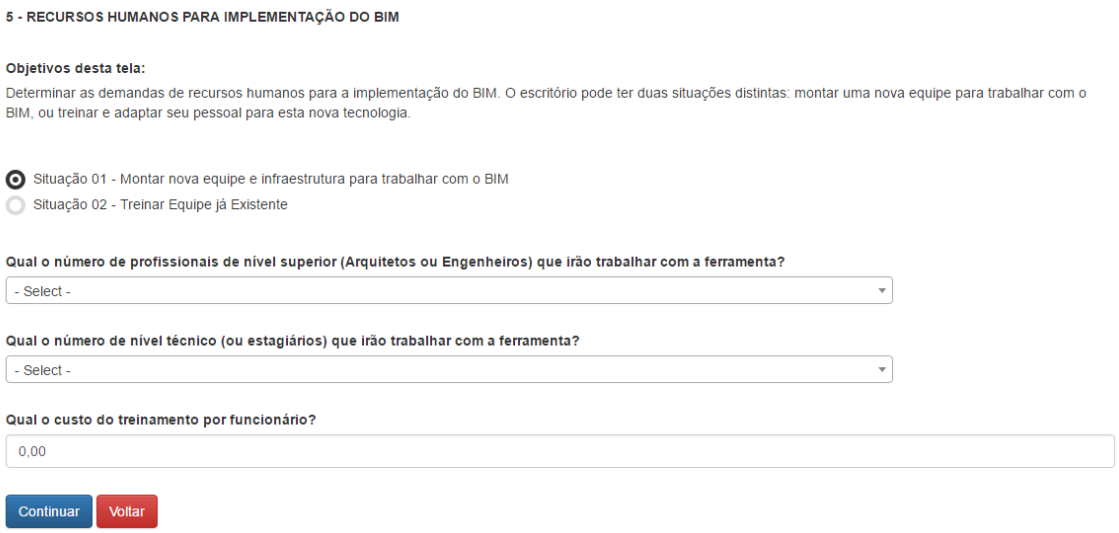
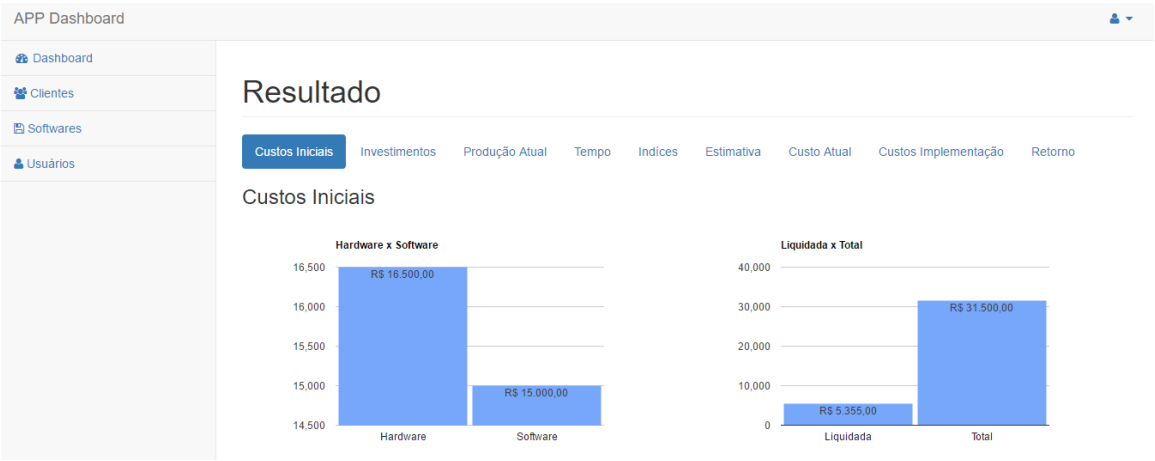


Figura 52 – Tela 6 – Recursos físicos - *Software* BIM Analysis®

5.3.3.3 – Interface de resultados

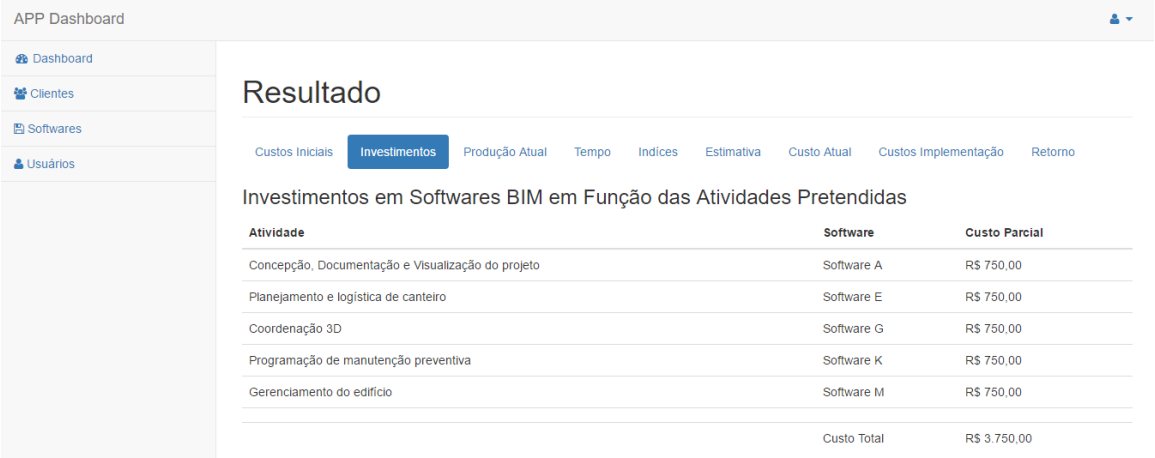
A interface de resultados é acessível apenas para os usuários administradores, através de *login* e senha. Conforme Figura 42, para cada cliente criado aparece um botão denominado “resultados”. Clicando neste botão, aparece a interface da Figura 53, que permite o gerenciamento das informações obtidas junto ao cliente. Na primeira aba, denominada “Custos Iniciais” se concentram os valores relativos a compra de *hardware* e *software* frente às atividades BIM almejadas pela empresa.

Figura 53 – Tela resultados – Aba custos iniciais –*Software* BIM Analysis®



As atividades de implantação BIM desejadas pela empresa irão definir os custos relativos ao *software*. Na aba “Investimentos” (Figura 54), é possível ver as respectivas atividades a serem desenvolvidas e o custo dos *softwares*.

Figura 54 – Tela resultados – Aba investimentos – *Software* BIM Analysis®



Os valores totais de produção atual da empresa constam na aba “Produção Atual” (Figura 55). Nesta tela é possível ver o montante total de m² desenvolvido pela empresa.

Figura 55 – Tela resultados – Aba produção atual – *Software* BIM Analysis®

Com relação ao tempo despendido nas atividades de projeto e o seu respectivo retrabalho, a aba “Tempo” (Figura 56) demonstra para cada profissional (arquiteto/engenheiro ARQ ou estagiário EST) o tempo bruto gasto no desenvolvimento dos diferentes tipos de projeto (estudo preliminar EP e Projeto Executivo PE).

Figura 56 – Tela resultados – Aba tempo – *Software* BIM Analysis®

Estabelecendo um quociente entre o tempo gasto no desenvolvimento dos projetos e a área projetada, a aba “Índices” (Figura 57) traz o resultado de produ-

tividade dos diferentes profissionais – Arquitetos ou Engenheiros ARQ ou Estagiários - no desenvolvimento de estudos preliminares e projetos executivos.

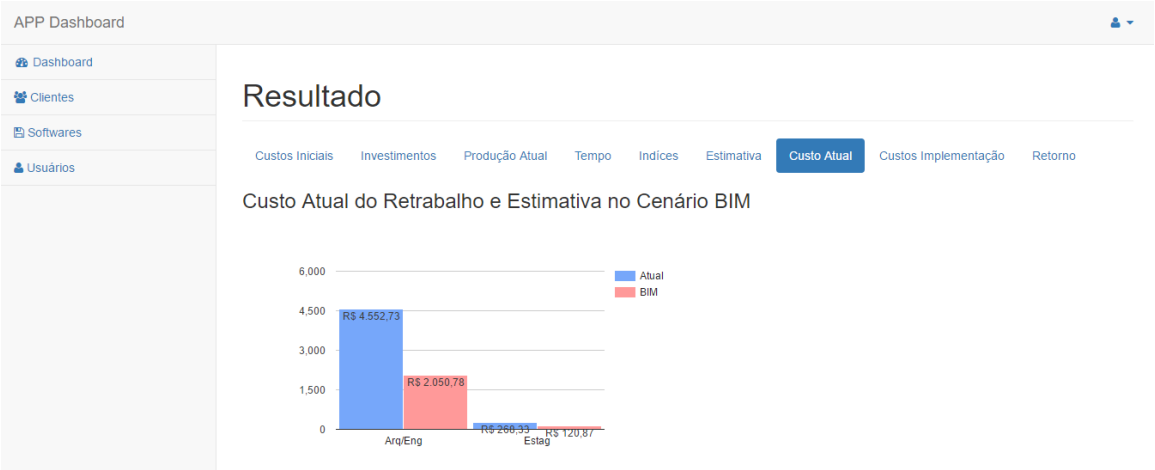
Figura 57 – Tela resultados – Aba índices – *Software* BIM Analysis®

A implantação BIM gera um aumento na produtividade. Os resultados da aba “Estimativa” (Figura 58) demonstram os ganhos relativos para os diferentes profissionais e etapas de projeto que estão sendo desenvolvidas.

Figura 58 – Tela resultados – Aba estimativa – *Software* BIM Analysis®

As atividades de retrabalho dentro dos processos de projeto, seja para estudos preliminares quanto projetos executivos estão quantificados na Figura 59. A partir dela, é possível compreender a diminuição dos custos com relação a este item frente a implantação BIM.

Figura 59 – Tela resultados – Aba custo atual – *Software* BIM Analysis®

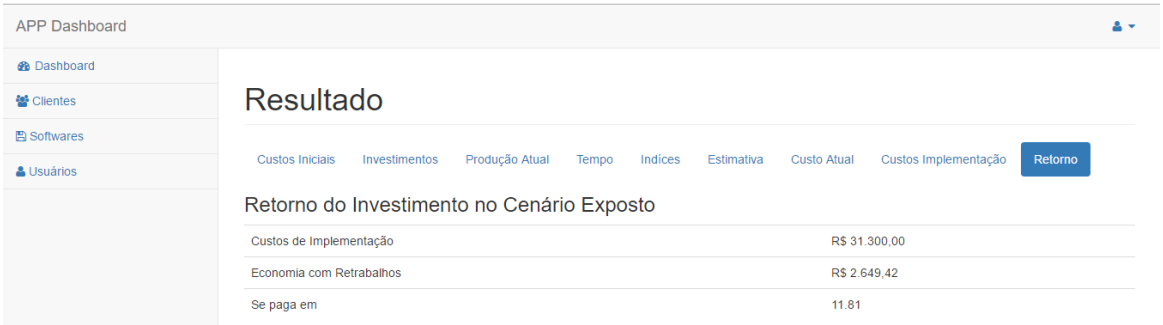


A aba “Custos de Implementação” (Figura 60) faz uma soma dos recursos necessários para a implementação BIM. Estão considerados os custos de *hardware*, *software* e treinamentos necessários.

Figura 60 – Tela Resultados – Aba custos implementação – *Software* BIM Analysis®

E finalmente, a Figura 61 mostra o tempo de retorno dos investimentos para a implementação BIM. Estão elencados os custos de implantação, a economia de retrabalhos, que é função da diferença dos retrabalhos nos cenários CAD e BIM, e o retorno é dado pelo quociente destas duas variáveis.

Figura 61 – Tela Resultados – Aba retorno do investimento – *Software* BIM Analysis®



5.3.4 – Estudos de caso e validação da ferramenta

A fim de validar o *software* desenvolvido, foram desenvolvidos estudos de caso *off-line*, que consistiu na coleta de dados via um formulário *online*, e estudos de caso *on-line*, visando analisar o desempenho da ferramenta nestas duas condições. Em ambos os casos foram entrevistadas empresas do setor da AEC.

5.3.4.1 – Resultados obtidos por questionários e inseridos no *software* - *Offline*

Para a coleta das informações foi desenvolvido um questionário no aplicativo Google Docs. O link com a pesquisa foi encaminhado para experts do setor de AEC. Após a coleta, os dados foram inseridos dentro do aplicativo BIM Analysis® pelo autor. As empresas respondentes foram denominadas de A, B, C e D, e pertencem ao setor da AEC, com atuação na região sudeste do Brasil. O foco das empresas é o desenvolvimento de projetos de edificações.

Após a inserção das informações obtidas, os resultados apresentados no *software* foram sintetizados através de tabelas, para que fosse possível estabelecer uma comparação e entendimento das empresas. Esta estratégia foi utilizada para que os dados quantitativos pudessem ser vistos pareados aos outros.

Os valores referentes aos custos de Implantação (tela 1) estão sintetizados na Tabela 18, onde foi possível verificar os investimentos realizados no cenário de pré-implantação BIM. Todas as empresas participantes já liquidaram seus investimentos iniciais.

Tabela 18 – Síntese dos resultados obtidos na Tela 1 – Custos iniciais de implementação - *Software* BIM Analysis®

Empresa	Custo *Hardware R$*	Custo *Software R$*	% Liquidada
A	12.500,00	7.500,00	100
B	12.500,00	22.500,00	100
C	3.000,00	5.000,00	100
D	3.300,00	9.000,00	100

Os dados da Tabela 19 resume os custos relativos a implementação BIM almejada por cada empresa. É possível vislumbrar que todas possuem uma grandeza parecida de investimento neste quesito.

Tabela 19 – Síntese dos resultados obtidos na Tela 2 – Investimento em *softwares* - *Software* BIM Analysis®

Empresa	**Custo Total dos *Softwares* BIM necessários**
A	R$ 4.500,00
B	R$ 6.000,00
C	R$ 3.750,00
D	R$ 6.000,00

Já a Tabela 20 sintetiza os resultados das áreas brutas produzidas por cada empresa em seu respectivo contexto. Neste quesito houve uma dispersão quanto ao volume de projetos desenvolvidos pelas empresas respondentes, que reflete indiretamente o tamanho das empresas.

Tabela 20 – Síntese dos resultados obtidos na tela 3 – Produção atual da empresa – *Software* BIM Analysis®

Empresa	**Estudos Preliminares em m²**	**Projetos Executivos em m²**
A	127.500,00	38.500,00
B	4.375,00	4.375,00
C	225.000,00	1.875,00
D	1.875,00	3.125,00

A Tabela 21, por sua vez, traz o tempo total desprendido pelas empresas, por seus diferentes profissionais, nas diferentes etapas de projeto e os respectivos valores de retrabalho atuais. Os valores são bastante diferentes, haja vista a diferença de m² projetada por cada empresa.

Tabela 21 – Síntese dos resultados obtidos na tela 4 – Tempo bruto despendido atualmente nas atividades de projeto – *Software* BIM Analysis®

Empresa	Arquitetos / Engenheiros				Estagiários / Auxiliares			
	Tempo total em Estudos Preliminares (horas)	Tempo total em Retrabalhos em Estudos Preliminares (horas)	Tempo total em Projetos Executivos (horas)	Tempo total em Retrabalhos em Projetos Executivos (horas)	Tempo total em Estudos Preliminares (horas)	Tempo total em Retrabalhos em Estudos Preliminares (horas)	Tempo total em Projetos Executivos (horas)	Tempo total em Retrabalhos em Projetos Executivos (horas)
A	450	270	300	180	750	450	1800	1080
B	35	8,75	1500	262,5	2600	650	6000	2100
C	3000	1050	300	105	1500	675	80	36
D	105	18,38	450	78,75	70	12,25	300	52,5

Os coeficientes de produtividade de cada respondente encontram-se na Tabela 22. Pode-se perceber que eles variaram bastante, em função da diferença de área projetada entre cada um deles.

Tabela 22 – Síntese dos resultados - índices de produtividade da empresa – *Software* BIM Analysis®

Empresa	Índices de Produtividade (h/m²)			
	Estudos Preliminares		Projetos Executivos	
	Arquitetos / Engenheiros	Estagiários / Auxiliares	Arquitetos / Engenheiros	Estagiários / Auxiliares
A	0,007	0,012	0,006	0,006
B	0,016	1,189	0,011	0,032
C	0,027	0,013	0,096	0,037
D	0,012	0,075	0,034	0,022

A Tabela 23 traz a estimativa de produtividade no cenário BIM para os respondentes. Pode-se perceber que todas se beneficiariam da implantação em função do melhor desempenho destas ferramentas.

Tabela 23 – Síntese dos Resultados – Estimativa de produtividade no cenário BIM – *Software* BIM Analysis®

Empresa	Índices de Produtividade (h/m²)							
	Estudos Preliminares				Projetos Executivos			
	Arquitetos / Engenheiros		Estagiários / Auxiliares		Arquitetos / Engenheiros		Estagiários / Auxiliares	
	Produt Atual	Produt estimada no cenário BIM	Produt Atual	Produt estimada no cenário BIM	Produt Atual	Produt estimada no cenário BIM	Produt Atual	Produt estimada no cenário BIM
A	0,007	0,025	0,012	0,041	0,006	0,009	0,006	0,009
B	0,016	0,056	1,189	4,184	0,011	0,017	0,032	0,047
C	0,027	0,094	0,013	0,047	0,096	0,140	0,037	0,055
D	0,112	0,394	0,075	0,263	0,034	0,049	0,022	0,033

Os custos atuais de retrabalho e a estimativa no cenário BIM para os respondentes estão elencados na Tabela 24. Os respondentes A, B e C possuem um perfil bastante parecido de padrão de desperdícios, enquanto que em D estes custos são relativamente bastante menores.

Já na Tabela 25 é possível verificar os custos de implantação em função de *hardware* e *software*. Este cenário demonstrou-se bastante diferente, no qual o respondente B apresenta maior valor, e o respondente C o menor.

Tabela 24 – Síntese dos resultados – Custo atual do retrabalho e estimativa no cenário BIM – *Software* BIM Analysis®

Empresa	Custo Atual dos Retrabalhos – Arquitetos e Engenheiros, em R$	Custo estimado dos Retrabalhos – Arquitetos e Engenheiros – Cenário BIM – em R$	Custo Atual dos Retrabalhos – Estagiários e Auxiliares, em R$	Custo estimado dos Retrabalhos – Estagiários e Auxiliares – Cenário BIM – em R$
A	9.843,75	4.434,12	10.200,00	4.594,59
B	11.019,00	4.963,75	34.375,00	15.484,23
C	25.265,63	11.380,91	4.740,00	2.135,14
D	4.552,73	2.050,78	491,67	194,44

Tabela 25 – Síntese dos resultados – Custos para implementação BIM – *Software* BIM Analysis®

Empresa	Custo de *Hardware,* em R$	Custo de *Software,* em R$	Custo de Treinamentos, em R$	Custo Total, em R$
A	0,00	45.000,00	2.000,00	47.000,00
B	0,00	60.000,00	2.000,00	62.000,00
C	0,00	15.000,00	1.000,00	16.000,00
D	0,00	36.000,00	3.000,00	39.000,00

A Tabela 26 sintetiza o retorno dos investimentos visando a implantação BIM. Dentre os respondentes, a empresa C apresenta o menor tempo de retorno, enquanto que a D apresenta o maior tempo. As empresas A e B apresentam valores intermediários.

Tabela 26 – Síntese dos resultados – Retorno dos investimentos – *Software* BIM Analysis®

Empresa	**Custo de Implementação (*Hardware* + *Software*), em R$**	**Economia com Retrabalhos, em R$**	**Retorno dos Investimentos (anos)**
A	47.000,00	11.015,14	4,27
B	62.000,00	24.946,54	2,49
C	16.000,00	16.489,58	0,97
D	39.000,00	2.739,18	14,24

5.3.4.3 – Resultados obtidos por respondentes *online*

A fim de analisar o desempenho da ferramenta BIM Analysis®, foram analisadas 4 empresas do setor de AEC da região sudeste do Brasil. Foi estabelecido contato por e-mail, e encaminhado, individualmente, um link para que o respondente pudesse inserir suas informações no *software*.

As empresas entrevistadas foram denominadas como K, L, M e N, onde K, L e N desenvolvem projetos de edificações na área de AEC, enquanto o foco da empresa M é a realização de projetos de infraestrutura, e está interessada em abrir um novo nicho de negócios dentro da empresa. Com relação aos custos iniciais de implantação, a Tabela 27 traz os resultados obtidos para o cenário das 4 empresas entrevistadas.

Tabela 27 – Síntese dos resultados obtidos na Tela 1 – Custos iniciais de implementação - *Software* BIM Analysis®

Empresa	Custo *Hardware,* em R$	Custo *Software,* em R$	% Liquidada
K	1.890,00	4.000,00	100%
L	9.000,00	4.500,00	100%
M	72.000,00	48.000,00	100%
N	4.000,00	4.000,00	100%

A seguir encontra-se listados na Tabela 28 os investimentos necessários para implementação BIM. As empresas K e N apresentam maiores investimentos neste quesito, enquanto que L e M estão com a mesma pretensão de gastos neste quesito.

Tabela 28 – Síntese dos resultados obtidos na Tela 2 – Investimento em *softwares* - *Software* BIM Analysis®

Empresa	Custo Total dos *Softwares* BIM necessários, em R$
K	13.500,00
L	4.500,00
M	4.500,00
N	12.000,00

O perfil de produção de projetos, em m², (Tabela 29) é diferente entre os entrevistados, onde a empresa K pode ser caracterizada como empresa de pequeno porte, L e N são empresas de médio porte e M é uma empresa de grande porte.

Tabela 29 – Síntese dos resultados obtidos na tela 3 – Produção atual da empresa – *Software* BIM Analysis®

Empresa	Estudos Preliminares, em m²	Projetos Executivos, em m²
K	3.125,00	3.125,00
L	10.625,00	10.625,00
M	1.500.000,00	1.500.000,00
N	10.625,00	10.625,00

A Tabela 30, por sua vez, traz o tempo bruto despendido pelas empresas na execução de projetos, e as respectivas perdas relativas a retrabalhos. Os tempos apresentam-se proporcionais aos valores de área declarados pelas empresas. Já a Tabela 31 lista os índices de produtividade entre os respondentes.

Tabela 30 – Síntese dos resultados obtidos na tela 4 – Tempo bruto despendido atualmente nas atividades de projeto – *Software* BIM Analysis®

Empresa	Arquitetos / Engenheiros				Estagiários / Auxiliares			
	Tempo total em Estudos Preliminares (horas)	Tempo total em Retrabalhos em Estudos Preliminares (horas)	Tempo total em Projetos Executivos (horas)	Tempo total em Retrabalhos em Projetos Executivos (horas)	Tempo total em Estudos Preliminares (horas)	Tempo total em Retrabalhos em Estudos Preliminares (horas)	Tempo total em Projetos Executivos (horas)	Tempo total em Retrabalhos em Projetos Executivos (horas)
K	2700	1620	2700	945	900	315	900	315
L	5000	375	5000	375	5000	375	5000	375
M	12000	4200	9000	2250	1800	630	13500	3375
N	1800	315	900	112,5	900	225	900	112,5

Tabela 31 – Síntese dos resultados - índices de produtividade da empresa – *Software* BIM Analysis®

Empresa	Índices de Produtividade, em h/m²			
	Estudos Preliminares		Projetos Executivos	
	Arquitetos / Engenheiros	Estagiários / Auxiliares	Arquitetos / Engenheiros	Estagiários / Auxiliares
K	1,728	0,576	0,067	0,022
L	0,941	0,941	0,003	0,003
M	0,016	0,002	0,00028	0,00030
N	0,339	0,169	0,005	0,002

Os dados obtidos na Tabela 32 demonstram a produtividade atual e a estimada no cenário BIM. Na Tabela 33, os custos referente ao retrabalho no cenário atual e no cenário BIM.

Tabela 32 – Síntese dos Resultados – Estimativa de produtividade no cenário BIM – *Software* BIM Analysis®

Empresa	Estimativa de Produtividade, em h/m²							
	Estudos Preliminares				Projetos Executivos			
	Arquitetos / Engenheiros		Estagiários / Auxiliares		Arquitetos / Engenheiros		Estagiários / Auxiliares	
	Produt Atual	Produt estimada no cenário BIM	Produt Atual	Produt estimada no cenário BIM	Produt Atual	Produt estimada no cenário BIM	Produt Atual	Produt estimada no cenário BIM
K	1,728	6,083	0,576	2,028	0,067	0,098	0,022	0,033
L	0,941	3,313	0,941	3,313	0,941	3,313	0,941	3,313
M	0,016	0,056	0,002	0,008	0,00028	0,00041	0,00030	0,00044
N	0,339	1,193	0,169	0,596	0,005	0,007	0,002	0,003

Tabela 33 – Síntese dos resultados – Custo atual do retrabalho e estimativa no cenário BIM – *Software* BIM Analysis®

Empresa	Custo Atual dos Retrabalhos – Arquitetos e Engenheiros – em R$	Custo estimado dos Retrabalhos – Arquitetos e Engenheiros – Cenário BIM – em R$	Custo Atual dos Retrabalhos – Estagiários e Auxiliares – em R$	Custo estimado dos Retrabalhos – Estagiários e Auxiliares – Cenário BIM – em R$
K	56.109,38	25.274,49	4.725,00	2.128,38
L	25.312,50	11.402,03	15.000,00	6.756,76
M	302.343,75	136.190,88	83.437,50	37.584,46
N	18.703,13	8.424,23	3.656,25	1.646,96

Os dados da Tabela 34 sintetizam os custos para implementação BIM e a Tabela 35 sinaliza o total de investimento e o tempo de retorno frente ao cenário proposto.

Tabela 34 – Síntese dos resultados – Custos para implementação BIM – *Software* BIM Analysis®

Empresa	**Custo de *Hardware*, em R$**	**Custo de *Software*, em R$**	**Custo de Treinamentos, em R$**	**Custo Total, em R$**
K	10.500,00	40.500,00	4.500,00	55.500,00
L	0,00	13.500,00	6.000,00	19.500,00
M	0,00	72.000,00	22.500,00	94.500,00
N	4.000,00	24.000,00	1.000,00	29.000,00

Tabela 35 – Síntese dos Resultados – Retorno dos investimentos – *Software* BIM Analysis®

Empresa	Custo de Implantação (Hardware + *Software*), em R$	Economia com Retrabalhos, em R$	Retorno dos Investimentos (anos)
K	55.500,00	33.431,50	1,66
L	19.500,00	22.153,72	0,88
M	94.500,00	212.005,91	0,45
N	29.500,00	12.287,58	2,36

5.3.5 – Aspectos relevantes obtidos

Visando a implantação de ferramentas BIM em pequenas empresas de AEC, a lógica de construção da ferramenta BIM Analysis® demonstra-se eficaz no sentido de permitir o entendimento dos custos de retrabalho dentro das rotinas de trabalho existentes.

A análise dos resultados obtidos off-line demonstra que, para as empresas que apresentam alto grau de desperdício e retrabalhos, o retorno do investimento em soluções BIM dá-se em tempo bastante reduzido. Os dados obtidos nas empresas A (4,27 anos), na Empresa B (2,49 anos). A Empresa C é um caso particular pois apresenta um alto desperdício de retrabalho, em torno de 60%. Nesta condição seu retorno seria em menos de 1 ano.

Já a empresa D possui um grau de racionalização de procedimentos bastante interessante, pois seu grau de retrabalhos está na ordem de 5%. Sendo assim, o seu prazo de retorno seria em 14,24 anos. Para uma empresa que atualmente já trabalha em níveis de racionalização tão altos, a implantação BIM pode significar a adoção de novos negócios visando aumentar o leque de atividades, e com os ganhos oriundos destes novos negócios, haveria um retorno dos investimentos realizados.

Já os resultados obtidos *online* demonstram que independente do porte, a ferramenta apresenta-se eficaz para o entendimento do custo dos retrabalho dentro dos referidos perfis de produção. A empresa K e M apresentaram, respectivamente, 1,66 e 2,36, e isso demonstra o perfil bastante parecido quanto as demandas de implantação e perfil de produção atual. Já a empresa L possui um perfil de produção com uma taxa de desperdícios bastante alta, o que faz com que o seu retorno seja em menos de 1 ano.

A empresa N, por sua vez, possui um perfil de produção bastante alto comparado aos outros respondentes, e frente ao volume de projeto desenvolvido, seu retorno acabaria sendo em menos de meio ano, porém, é necessário vislumbrar também que os objetivos da empresa N em implantação BIM não são parecidos com os das empresas K e M, que desejam outras aplicações BIM.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir do panorama tecido na introdução do trabalho, o cenário da produção de edificações no Brasil é bastante peculiar. O setor apresenta, historicamente, um papel bastante importante na economia, e os investimentos no setor significaram, a longo prazo, uma melhoria de diversos outros subsetores.

Porém, quanto ao modelo produtivo, o mesmo apresenta problemas históricos de produtividade e desperdícios, que resultam em perdas e em um alto custo no produto final gerado. Tais problemas têm origem tanto nos projetos desenvolvidos, que ainda carecem de um amadurecimento maior, quanto na mão de obra utilizada pelo setor.

Com relação aos projetos, percebe-se que falta, por parte dos agentes técnicos envolvidos, mais tempo e possibilidade de desenvolvimento de projetos mais elaborados, que nem sempre são o objetivo do consumidor final ou do empreendedor, e assim, sob este paradigma, tem-se projetos com detalhes que deverão ser resolvidos dentro do canteiro de obras, gerando retrabalhos e desperdícios, além de não se conseguir cumprir, todas as vezes, a todos os requisitos de desempenho.

Como nova tecnologia do setor da AEC, pode-se perceber que o emprego de ferramentas BIM, no contexto mundial, é irreversível e está trazendo diversos ganhos de produtividade e melhoria dos processos de projeto, gestão e produção das edificações. Seu emprego, no Brasil, está ganhando espaço, alinhado as novas demandas de melhoria de qualidade dos objetos da área da construção civil.

Com a implantação dos programas de aceleração do crescimento por parte do Governo Federal, frente a uma gama alta de investimentos no setor, despontou uma inegável falta de mão de obra e a baixa produtividade, historicamente já conhecidas. Se o país fosse assumir taxas de crescimento similares a outros países, certamente a indústria da construção precisaria rever todos os seus processos, desde projeto até execução, pois a produtividade do setor não estaria alinhada ao aumento da demanda.

Dentro deste cenário de crescimento, o foco na utilização de ferramentas BIM pode significar uma melhoria dos processos de projeto, controle e gestão dos

processos construtivos. Conforme indica o artigo 1, a lógica de integração das ferramentas BIM pode permitir, a longo prazo, o desenvolvimento de projetos mais eficientes e voltados para a produção da edificação no canteiro de obras.

No Brasil, conforme indica o artigo 2, as empresas estão implementando as soluções BIM em seus processos. De maneira inicial, pode-se perceber que as empresas utilizam as ferramentas para a execução de modelagem arquitetônica, sem integração entre diferentes instâncias. Considerando o tempo bruto gasto, as empresas estão gastando mais tempo no desenvolvimento de projetos em soluções BIM do que nas soluções CAD. Isso é consequência da necessidade de maior tempo na definição de informações, dentro dos sistemas BIM, que não são necessárias nos sistemas convencionais. Porém, é necessário compreender que, um maior dispêndio de tempo em etapas iniciais, significará um menor gasto de tempo em etapas de projeto executivo e, consecutivamente, na produção da edificação em canteiro.

A utilização das ferramentas BIM em atividades didáticas, dentro de cursos de graduação em Engenharia Civil, é uma ponte bastante pertinente, pois o uso de uma ferramenta de integração de conhecimentos pode melhorar significativamente o processo de aprendizado integrado e colaborativo dentro do universo da sala de aula. A análise dos dados do artigo 2 demonstram que as ferramentas BIM são mais eficientes e fazem com que os alunos gastem mais tempo no desenvolvimento dos projetos, menos preocupados com a simples realização de desenhos técnicos. Esta é uma mudança de paradigmas muito significativa no processo de ensino e aprendizagem de projetos, permitindo o desenvolvimento de um processo integrado.

No aspecto de produtividade, o tempo gasto é proporcional ao esforço intelectual na resolução dos problemas. Para os projetos iniciais, pela facilidade de definição de volumetrias e espaços, as ferramentas BIM são bastante interessantes, porém, quando nas etapas de projeto executivo gasta-se mais tempo na execução dos projetos. Porém, a literatura aponta que as ferramentas BIM demandam maior gasto de tempo nas etapas iniciais pela necessidade de definição de todas as informações e instâncias, gastando-se menos tempo nas etapas seguintes.

No Brasil, como apontou os resultados do artigo 6, grande parte das companhias estão experimentando as ferramentas BIM ainda com grande foco na modelagem e nos sistemas estruturais. Porém, ainda há pouca integração horizontal entre as diversas fases devido principalmente a adaptação gradual dos diversos agentes do processo de produção dentro da cadeia da construção civil.

A adoção das ferramentas BIM pelo mercado é um processo que está em fase inicial, porém os resultados preliminares demonstram que seus ganhos qualitativos são inquestionáveis. Dentro do cenário atual de melhoria da produtividade e da qualidade dos processos, exigida em qualquer setor econômico atual, tais ferramentas significam um melhor domínio das informações visando aumentar a qualidade do processo de projeto e a gestão do processo de produção.

A implantação BIM compreende a adoção de *software* e a mudança de paradigmas e processos na elaboração de projetos e gestão da informação dentro da área da construção civil. Para um agente atual do mercado, que utiliza ferramentas convencionais, não são claras as variáveis que implicam tal implantação.

Assim, o desenvolvimento do *software* BIM Analysis® demonstrou-se como uma ferramenta quantitativa para levantar, junto a um empresário do setor da AEC, as demandas principais para a implantação de ferramentas BIM, os ganhos que ocorrerão, e em quanto tempo o investimento irá retornar frente ao cenário existente de desperdícios de tempo em retrabalhos. A concepção em um ambiente Web foi pertinente visando a utilização do mesmo em diversas plataformas.

A estratégia de quantificação com relação aos desperdícios, adotada como conceito da aplicação, se justifica, pois, um dos problemas conceituais do setor justamente são os retrabalhos. O desenvolvimento de projetos com menos retrabalho significa um ganho qualitativo no produto final, gerando menos gastos e imprevistos dentro do processo. Os retrabalhos geram um custo para as empresas que não são evidentes e são difíceis de serem quantificados.

Frente aos resultados obtidos, pode-se perceber que os escritórios com alto índice de retrabalho apresentam um retorno dos investimentos em menos tempo do que os que apresentam um baixo desperdício. Porém, para estes últimos, a adoção de soluções BIM pode significar a possibilidade do ganho de no-

vos nichos de negócio, e assim, apesar do retorno financeiro ser a longo prazo, a realização de mais trabalhos pode significar ganhos.

A ferramenta BIM Analysis® foi modelada, inicialmente, como uma ferramenta na qual o usuário entra com dados sobre sua rotina produtiva e objetivos, e os resultados obtidos são enviados posteriormente. Esta adoção foi tomada em função da complexidade das informações inseridas, que nem sempre podem ser claras para um usuário comum.

Porém, a inserção das informações solicitadas, por parte dos usuários, é de média complexidade, e os cálculos necessários, como o volume de projetos desenvolvidos em área (m²), ou o tempo despendido nos últimos 12 meses, são de mediana complexidade para um usuário comum.

Como prosseguimento da pesquisa, a ferramenta poderia ser melhorada com relação a interface de saída de dados, onde, após a inserção das informações por parte do usuário, a mesma poderia ter uma saída de dados, que demonstrasse de maneira mais didática o que fora obtido, sem intervenção do gestor da aplicação. Um segundo desafio seria o estabelecimento de métricas que pudessem ser mais simples, sob o ponto de vista do usuário, facilitando a inserção de informações e tornando o processo mais simples.

Assim, os esforços no sentido de melhoria dos processos produtivos dentro do setor da construção civil, seja através da melhoria da qualidade dos projetos, ou do processo produtivo, é justificável e pode, a longo prazo, contribuir para o desenvolvimento sustentável do setor, trazendo ganhos efetivos para o país na busca por um cenário produtivo eficiente e sustentável frente ao que se pratica globalmente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. **Seleção e Contratação de Serviços e Obras de Engenharia e Arquitetura de natureza privada – NBR 5670**. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro, 1977.

ADDOR, M.(Coord). **Guia Asbea de Boas Práticas em BIM – Fascículo I**. GTBIM/ASBEA. Associação Brasileira do Escritórios de Arquitetura. 2013. Disponível Online <http://www.manuaisdeescopo.com.br/Images/Conteudo/ME/Download/Guia_Bim_AsBEA.pdf>. Acesso em Março/16.

ADDOR, M.R.A.; CASTANHO, M.D.A.; CAMBIAGUI, H.; DELATORRE, J.P.M.; NARDELLI, E.S.; OLIVEIRA, A.L. **Colocando o "i" no BIM** *in* Revista Arq.Urb. n.4. Pg 104-115. Universidade São Judas Tadeu. São Paulo, 2010.

AVELAR, A. C. B. S.; MONTEIRO, A. O. **Alianças E Estratégias Na Construção Civil Em Salvador – Bahia** *in* Revista Gestão e Planejamento, Salvador, v. 8, n. 2, p. 96-11, jul/dez 2007. Disponível online em http://www.spell.org.br/documentos/download/27460 Acessado em Abril/16.

BARROS, M. M. B. **Metodologia para implantação de Tecnologia Construtiva Racionalizada na Construção de Edifícios**. Doutorado em Engenharia Civil. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1996.

CALVERT, Neil. **Why we care about BIM**. Disponível online em http://spatialiq.co.nz/index.php/uncategorized/why-we-care-about-bim. Acessado em Março/15.

CBIC. **Banco de Dados**. Câmara Brasileira da Indústria da Construção. São Paulo. 2015.

CENTRO DE GESTÃO E RECURSOS ESTRATÉGICOS. **Estudo Setorial Panorama da Construção Civil**. Relatório Oficial. Ministério do Planejamento. Brasília. 2009. Disponível em www.abdi.com.br/Estudo/Panorama%20Setorial%20de%20Construção%. Acessado em Abril/16.

CICHINELLI, G. C. **Como orçar com BIM: Entenda como o BIM (Modelagem de Informações para a Construção) automatiza processos e garante maior**

precisão à orçamentação *in* Revista Guia da Construção. Ed. 94. Editora Pini. São Paulo, 2009.

EARDIE, R. ; BROWNE, R. ; ODEYINKA, H. ; MCKEOWN, C. ; MACNIFF, S. BIM **Implementation throughout the UK construction project lifecycle: an analysis** *in* Automation in Construction, n.36, p. 145-151. Disponível em <http://doi:10.1016/j.autcon.2013.09.001> Dezembro 2013. Acesso em Março/15.

FRANCO, L.S. **Aplicação de diretrizes de racionalização construtiva para evolução tecnológica dos processos construtivos em alvenaria estrutural não armada**. Tese de Doutorado em Engenharia Civil – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 1992.

MASSON, T.J.; MIRANDA, L.F; MUNHOZ JR, A.H. CASTANHEIRA, A.M.P. **Metodologia de Ensino: Project-Based Learning** *in* COBENGE – XL Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia, 2014.

MELLO, L. C. B. D. B.; AMORIM, S. R. L. D. **O subsetor de edificações da construção civil no Brasil: uma análise comparativa em relação à União Europeia e aos Estados Unidos**. Revista Produção, São Paulo, v. 19, n. 2, p. 388-399, maio/agosto 2009.

MIETTINEN, R.; PAAVOLA, S. **Beyond the BIM Utopia: Approaches to the development and implementation of Building Information Modeling** *in* Automation in Construction, n. 43, p. 84-91. Disponível online em <http://doi:10.1016/j.autcon.2014.03.009>. (Julho 2014). Acessado em Março/15.

MIGILINSKAS, D.; POPOV, V.; JUOCEVICIUS, V; USTINOVICHIUS, L. **The Benefits, Obstacles and Problems of Practical BIM Implementation** *in* 11th International Conference on Modern Building Materials, Structures and Techniques, MBMST (2013). Science Verse. Disponível online em <http://dx.doi.org/10.1016/j.proeng.2013.04.097> Acesso em Março/15.

MINISTERIO DO PLANEJAMENTO. **PAC2**. Secretaria Do Programa De Aceleração Do Crescimento, 2014. Disponivel em: <http://www.pac.gov.br/sobre-o-pac/medidas>. Acesso em: Fevereiro/14.

NAKAMURA, J. **Licitações exigem BIM**. *In* Revista Infraestrutura Urbana. Ed. 7. Out/11. Dipsonivel online em <http://infraestruturaurbana.pini.com.br/solucoes-tecnicas/7/licitacoes-exigem-bim-235494-1.aspx>. Acesso em Fevereiro/16.

PERALTA, A.C. **Um modelo do processo de projeto de edificações, baseado na engenharia simultânea, em empresas construtoras incorporadoras de pequeno porte**. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Produção. Universidade Federal de Santa Catarina. (2002) Disponível online em <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/.../188665.pdf> Acesso em Março/15.

PERALTA, A.C. **Um modelo do processo de projeto de edificações, baseado na engenharia simultânea, em empresas construtoras incorporadoras de pequeno porte**. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Produção. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2002.

PORWAL, A.; HEWAGE, K. N., **Building Information Modeling (BIM) partnering frame-work for public construction projects** *in* Automation in Construction, n.31, p. 203-214. Disponível online em <http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2012.12.004> (Maio 2013). Acesso em Março/14.

PRATES, V. **BIM avança no Brasil: Sistema que revoluciona a forma de projetar já está sendo implantado em algumas construtoras; desafio é difundi-lo em todo o mercado** *in* Revista Construção e Mercado. Ed. 112. Editora Pini. São Paulo, 2010.

RÍOZ, I.; CAZORLA, A.; DÍAZ-PUENTE, J. M.; YAGÜE, J. L. **Project–based learning in engineering higher education: two decades of teaching competences in real environments** *in* Procedia Social and Behavioral Sciences 2. Disponível online em <http://dx.doi.org/10.1016/j.sbspro.2010.03.202>. Acessado em Março/14.

SANTOS, A.P.L.; WITICOVSKI, L.C.; GARCIA, L.E.M.; SCHEER, S. **A utilização do BIM em projetos de construção civil** *in* IJIE – Iberoamerican Journal of Industrial Engineering. Vol.1. n2. Pg. 24-42. Florianópolis, 2009.

SANTOS, S.D.; VENDRAMETTO, O.; GONZÁLEZ, M.L.; COSTA, C.F. **The Potential of Building Information Modeling – BIM - Tools inside Brazilian Civil Construction Scenery** *in* APMS 2015 – Advances in Production Management Systems – Tokyo - Japan. 2015. Disponível online em <http://10.1007/978-3-319-22756-6_37>. Acesso em Abril/16.

SINDUSCON. **Impacto da Utilização BIM nos Escritórios de Projeto Paulistas**. Workshop sobre BIM 2012. Disponível online <http://www.sindusconsp.com.br>. Acesso em Abril/16.

SILVA, J.C.B; AMORIM, S.R.L. **A contribuição dos sistemas de classificação para a tecnologia BIM - uma abordagem teórica** *in* TIC 2011 – Anais do V Encontro da Tecnologia da Informação na Construção. Salvador, Bahia. 2011.

SONG, S,; YANG, J; KIM, N., **Development of a BIM-based structural framework optimi-zation and simulation system for building construction** *in* Computers in Industry, n. 63, p. 895–912. 2012. Disponível online em <http://dx.doi.org/10.1016/j.compind.2012.08.013>. Acessado em Março/14.

SOUZA, A.F.; COELHO, R.T. **Tecnologia CAD/CAM - Definições e estado da arte visando auxiliar sua implantação em um ambiente fabril** *in* XXIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção – ENEGEP 2013. Disponível online em <http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGEP2003_TR0504_0920.pdf>. Acesso em Março/15.

THOMAZ, E. **Tecnologia, Gerenciamento e Qualidade na Construção**. 1. ed. São Paulo: Pini, 2001.

VOLK, R.; STENGEL, J.; SCHULTMANN, F. **Building Information Modeling (BIM) for existing buildings — Literature review and future needs** *in* Automation in Construction. 38 (2014) 109–127. Disponível online em <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2013.10.023>. Acesso em Janeiro/16.

ANEXO 1

ANEXO 2

ANEXO 3

ANEXO 4

ANEXO 5

ANEXO 6

ANEXO 7