

LUIZ FERNANDO DOMINGUES

MELHORIA DA QUALIDADE DO PROCESSO
DE PROJETO COM O USO DO BIM: ESTUDO DE CASO

Monografia apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo,
para obtenção do título de Especialista em
Gestão de Projetos na Construção

São Paulo

2019

LUIZ FERNANDO DOMINGUES

MELHORIA DA QUALIDADE DO PROCESSO
DE PROJETO COM O USO DO BIM: ESTUDO DE CASO

Monografia apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo,
para obtenção do título de Especialista em
Gestão de Projetos na Construção

São Paulo

2019

LUIZ FERNANDO DOMINGUES

MELHORIA DA QUALIDADE DO PROCESSO
DE PROJETO COM O USO DO BIM: ESTUDO DE CASO

Monografia apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo,
para obtenção do título de Especialista em
Gestão de Projetos na Construção

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Toledo Santos

São Paulo

2019

Catálogo-na-publicação

Domingues, Luiz Fernando

Melhoria da Qualidade do Processo de Projeto com o uso do BIM:
Estudo de Caso / L. F. Domingues -- São Paulo, 2019.
90 p.

Monografia (Especialização em Gestão de Projetos na Construção) - Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo. Poli-Integra.

1. Modelagem da Informação da Construção 2. Ferramenta BIM 3. Qualidade
4. Gestão de projetos 5. Construção Civil I. Universidade de São Paulo. Escola
Politécnica. Poli-Integra II.t.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu orientador, prof. Dr. Eduardo Toledo Santos, pelo apoio, ensinamentos e conselhos cedidos, além do auxílio irrestrito e colaboração no desenvolvimento deste trabalho.

Agradeço aos familiares, e primordialmente à Izildinha Betto, minha mãe, pela dedicação costumeira, pela força a que me inspira, e por tudo o que representa em minha vida. Agradeço a meu pai Carlos Osmar Gonçalves Domingues pelo apoio.

Agradeço à namorada, Caroline Oliveira Beraldi pelo companheirismo, apoio, carinho, força e suporte durante os momentos de fraqueza, além da grata oportunidade de fazer parte de minha vida.

Agradeço à empresa, objeto deste estudo de caso, pela experiência adquirida através do trabalho e empenho, a qual veio a impulsionar à oportunidade para realização do presente trabalho acadêmico.

E, finalmente, agradeço aos amigos do curso pelas contribuições diversas, e por compartilhar de experiências tão ricas, e conhecimentos tão valiosos.

“É preciso que o discípulo da sabedoria tenha o coração grande e corajoso. O fardo é pesado e a viagem longa.”

Confúcio

RESUMO

Perante a constante busca pelo aumento da acurácia no setor de projetos para a construção civil e pelo incremento na eficiência da implantação de empreendimentos imobiliários que atendam requisitos exigentes de qualidade, as empresas projetistas têm explorado novas maneiras de aprimorar seus processos de produção, focando na melhoria do fluxo de informações, conceituação e consistência na elaboração de seus produtos. Desta forma, as empresas têm buscado o *BIM (Building Information Modeling)* para melhorar seus processos, mas nem sempre decidem pela sua implantação, em parte devido à pouca disponibilidade de métricas que comprovem sua eficiência. Dentre as contribuições deste trabalho, está o oferecimento de métricas obtidas antes e após a implantação de BIM em um caso real. Com o foco na melhoria da qualidade do processo de elaboração e coordenação de projetos utilizando a metodologia *BIM*, o trabalho tem como objeto de estudo uma empresa projetista multidisciplinar que atende principalmente ao mercado de edificações de uso misto de médio porte. O modelo de pesquisa utilizado foi a pesquisa-ação, tendo como estudo de caso a comparação entre os indicadores de qualidade de projetos semelhantes elaborados em plataformas CAD, *BIM* e com o auxílio dos softwares BIMserver, Insight 360 e Dynamo. Esses aplicativos foram utilizados como instrumentos *BIM* para a melhoria do processo de projeto, que foram aplicados para gestão de modelos, prevenção de futuras alterações e criação de rotinas, respectivamente. A coleta de informações se deu através da consulta ao banco de dados gerencial da empresa, visando a análise dos recursos gastos no desenvolvimento de projetos e nos retrabalhos realizados devido à falta de qualidade. Dessa maneira, constatou-se que a implantação do BIM, juntamente com as ferramentas propostas, reduziu em 42,5% as horas de retrabalho devido a erros de projeto.

Palavras chaves: Modelagem da Informação da Construção. Ferramenta BIM. Qualidade. Gestão de projetos. Construção Civil. Métrica.

ABSTRACT

Given the constant search for increasing accuracy in the civil construction projects sector and for expanding efficiency on the implementation of real estate projects, meeting high quality requirements, designer companies have explored new ways to enhance their processes, focusing on improving the information flow, conceptualization and consistency in the elaboration of its products. In this way, companies have been looking for BIM (Building Information Modeling) to improve their processes, but they do not always decide on its implementation, partly due to the low availability of metrics that prove its efficiency. Amongst the contributions this paper presents is the offering of metrics obtained before and after the implementation of BIM in a real case scenario. Focusing on improving the quality of elaboration and coordination processes on projects using BIM methodology, this paper has, as object of study, a multidisciplinary design company that serves mainly the mixed use and medium-sized buildings construction market. The research method applied was the action-research methodology, with a case study comparing the quality indicators of similar projects elaborated on CAD and BIM platforms and with the help of BIMserver, Insight 360 and Dynamo applications. These software were used as BIM tools for the improvement of the design process, which were applied to model management, prevention of future changes and creation of routines, respectively. The information was gathered through the company's management database, focusing on the analysis of the resources spent on design development and the rework due to the lack of quality. It was verified that the implementation of BIM, with the proposed tools, has reduced the rework due to design errors by 42.5%.

Keywords: Building Information Modeling. BIM Tool. Quality. Project Management. Construction. Metrics.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Exemplo de programação textual	34
Figura 2 - Exemplo de programação visual.....	34
Figura 3 – Organograma da empresa	38
Figura 4 – Exemplo de cronograma de produção.....	41
Figura 5 – Mapeamento e configuração de IFC	47
Figura 6 - Inicialização do BIMserver	48
Figura 7 – Perspectiva multidisciplinar do projeto no BIMserver	48
Figura 8 – Compartilhamento de relatórios em formato BCF.....	49
Figura 9 – Controle de transações	49
Figura 10 – Geração de modelo analítico de energia no Revit.....	51
Figura 11 – Geração de modelo analítico de energia no Insight 360	52
Figura 12 - Valores de consumo x Comparação de cenários de projeto	52
Figura 13 – Alguns ajustes disponíveis para a criação dos cenários.....	53
Figura 14 – Script para compatibilização de parâmetros entre modelos.....	55
Figura 15 – Interface de reprodução de scripts do Dynamo dentro do Revit.....	55
Figura 16 – Fase de anteprojeto recebido do escritório de arquitetura.....	57
Figura 17 – Análise energética do projeto no Autodesk Insight	58
Figura 18– Fase de projeto básico do projeto piloto	59
Figura 19 – Projeto criado na plataforma de compartilhamento de modelos BIMserver.....	60
Figura 20 – Implantação do projeto de Praia Grande.....	64
Figura 21 – Perspectiva do projeto de Campina Grande.....	65
Figura 22 – Perspectiva do projeto de Londrina	66
Figura 23 – Gráfico comparativo de cada tipo de erro por projeto	70
Figura 24 – Gráfico comparativo de tempo gasto em desenvolvimento por projeto	71
Figura 25 – Gráfico comparativo de Controle de Demanda por projeto de Ar Condicionado.....	72
Figura 26 – Gráfico comparativo de Controle de Demanda por projeto de Estruturas de Concreto.....	73
Figura 27 – Gráfico comparativo de Controle de Demanda por projeto de Instalações Elétricas.....	73
Figura 28 – Gráfico comparativo de Controle de Demanda por projeto de Instalações de Gás.....	74
Figura 29 – Gráfico comparativo de Controle de Demanda por projeto de Instalações Hidráulicas	75
Figura 30 – Gráfico comparativo de Controle de Demanda por projeto de Instalações de Incêndio....	76
Figura 31 – Gráfico comparativo de Controle de Demanda por projeto de Instalações Sanitárias.....	77
Figura 32 - Gráfico comparativo de Controle de Demanda por projeto de Sistemas Especiais.....	77
Figura 33 – Gráfico comparativo de Controle de Demanda por projeto de Entrada de Energia.....	78
Figura 34 – Gráfico comparativo de Controle de Demanda por projeto de Fundações	79

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Particularidades presentes no desenvolvimento de projetos de engenharia e arquitetura	21
Tabela 2 - Falhas recorrentes de projetos sinalizadas por construtoras.....	23
Tabela 3 – Ferramentas Integradoras	28
Tabela 4 – Ferramentas Compartilhadoras.....	29
Tabela 5 – Exemplo de Classificação de Demanda	63
Tabela 6 – Resultados obtidos no projeto de Praia Grande (CAD).....	68
Tabela 7 – Resultados obtidos no projeto de Campina Grande (BIM)	68
Tabela 8 – Resultados obtidos no projeto de Londrina (BIM + Ferramentas).....	69

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

2D	Duas Dimensões
3D	Três Dimensões
4D	Quatro Dimensões
AEC	Arquitetura, Engenharia e Construção
API	<i>Application Programming Interface</i>
BCF	<i>BIM Collaboration Format</i>
BEP	BIM Execution Plan
BIM	<i>Building Information Modeling</i> (Modelagem da Informação da Construção)
BPS	<i>Building Performance Simulations</i>
CAD	<i>Computer-Aided Design</i>
DWF	Formato de arquivo (<i>Design Web Format</i>)
DWG	Formato de arquivo (<i>Drawing</i>)
IFC	<i>Industry Foundation Classes</i>
LEED	<i>Leadership in Energy and Environmental Design</i>
RVT	Formato de arquivo (Revit)
TI	Tecnologia da Informação
VPL	<i>Visual Programming Language</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	JUSTIFICATIVA	12
1.2	OBJETIVOS	13
1.2.1	OBJETIVO GERAL	13
1.2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	13
1.3	MÉTODO DE PESQUISA	14
1.4	ESTRUTURAÇÃO DO TRABALHO.....	14
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	15
2.1	QUALIDADE DE PROJETOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL	15
2.2	PROJETO-PRODUTO	18
2.3	PROJETO-PROCESSO.....	19
2.4	PARTICULARIDADES DE PROJETOS DE ENGENHARIA E ARQUITETURA	20
2.4.1	COMPLEXIDADE DO FLUXO DE INFORMAÇÕES	22
2.4.2	MULTIDISCIPLINARIDADE DE PROJETOS	22
2.4.3	COMPATIBILIZAÇÃO DE PROJETOS.....	23
2.5	FERRAMENTAS BIM.....	25
2.5.1	FERRAMENTAS BIM PARA INTEGRAÇÃO E COMPARTILHAMENTO	26
2.5.2	FERRAMENTAS BIM PARA ANÁLISE ENERGÉTICA	29
2.5.3	FERRAMENTAS BIM DE PROGRAMAÇÃO VISUAL.....	32
3	ESTUDO DE CASO	36
3.1	APRESENTAÇÃO DA EMPRESA	36
3.1.1	ESTRUTURA ORGANIZACIONAL.....	37
3.1.2	PROCESSO DE PROJETO.....	38
3.1.3	ANÁLISE DO PROCESSO DE PROJETO	43
3.2	ESCOLHA DAS FERRAMENTAS.....	44
3.2.1	IMPLANTAÇÃO DE FERRAMENTA PARA INTEGRAÇÃO E COMPARTILHAMENTO	45
3.2.2	IMPLANTAÇÃO DE FERRAMENTA PARA ANÁLISE ENERGÉTICA	50
3.2.3	IMPLANTAÇÃO DA FERRAMENTA DE PROGRAMAÇÃO VISUAL.....	53
3.3	PROJETO PILOTO	56
3.4	RESULTADOS	62
4	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	80

1 INTRODUÇÃO

O setor da construção civil demonstra baixa performance no que tange à produtividade, tendo entre as principais causas projetos de qualidade insatisfatória. Com o avanço da tecnologia da informação, novas ferramentas surgem para auxiliar o setor projetista a obter resultados mais consistentes e que proporcionem melhor desempenho às edificações, assim como eficiência e precisão na elaboração de projetos.

A qualidade dos projetos é um fator preponderante no desenvolvimento do campo da construção predial no país (GRILO; PEÑA; SANTOS, 2001), sendo de suma importância destacar a grande colaboração que o avanço da Tecnologia da Informação (TI) fez para o incremento deste fator (CRUZ; QUALHARINI, 2004).

A qualidade dos processos de projeto suportados por plataformas BIM pode ser otimizada através da automatização de atividades repetitivas de projeto, facilitação da colaboração multidisciplinar e auxílio nas tomadas de decisões técnicas de grande impacto para o empreendimento. Sendo assim, os profissionais podem focar mais em processos de engenharia e menos em documentação.

Segundo Meseguer (1991) pressupõe-se que a gerência dos projetos, no tocante a projetos prediais, deve ser realizada a princípio pelo próprio projetista durante a elaboração do projeto, através do respeito às normas vigentes que regem sua disciplina, exequibilidade e interface com os demais sistemas. Em um segundo momento, esta responsabilidade é transferida para a coordenação de projetos, que deve cumpri-la de acordo com suas prerrogativas.

Este trabalho propõe-se a demonstrar através da análise de dados coletados durante todo o processo de transição da tecnologia CAD para a metodologia BIM, e posteriormente com a introdução dos softwares BIMserver, Insight 360 e Dynamo no processo de projeto, quais foram os benefícios alcançados por meio das mudanças na plataforma de elaboração e no processo de projeto.

1.1 JUSTIFICATIVA

Diante da atual revolução digital que vem dominando todos os setores do mercado mundial, o BIM é uma das principais tecnologias atualmente aplicadas no setor da construção para trazer resultados na melhoria da qualidade, sendo assim uma poderosa ferramenta para melhoria dos resultados no campo da arquitetura e engenharia.

É de ciência comum de engenheiros e arquitetos as melhorias mais relevantes trazidas para os projetos com a implantação da metodologia BIM. É possível a elaboração de documentações muito mais representativas de forma rápida e confiável, detecção automática de incompatibilidades e garantia de consistência entre todas as vistas de projeto. Esta última vantagem remove um grande obstáculo no processo de projeto atual: o grande tempo dispendido em correções de desenhos (ROMERO; SCHEER, 2009; LAUBMEYER; MAGALHÃES; LEUSIN, 2009).

Os modelos gerados através de tecnologia BIM não são apenas maquetes tridimensionais dos sistemas projetados, são também uma central de informações que permitem inúmeros usos durante todo o ciclo de vida do empreendimento, gerando eficiência para o processo (TSE; WONG; WONG, 2005), assim a utilização da tecnologia requer cuidado na inserção, gestão e análise do banco de dados disponível no modelo, usando ferramentas específicas para que as informações sejam utilizadas em prol da melhoria da qualidade do projeto.

Assim, a assimilação das vantagens do BIM pode contribuir para o aumento do valor dado ao trabalho de projetistas e coordenadores, contudo deve ser embasada em dados consistentes, que exigem tempo para serem colhidos. Desta forma, este é o principal trabalho a ser desenvolvido, com o auxílio de associações técnicas de engenharia e arquitetura. (AMORIM, 2018)

Contudo, apesar da consolidação das principais funções das ferramentas BIM, torna-se complexo para os profissionais da construção saber diferenciar quais softwares são ideais para auxílio na solução de quais problemas no processo de projeto, assim como, a falta de publicações que analisem casos nacionais de implantação de BIM e que reportem métricas capazes de comprovar o grau de melhoria atingido com o uso desta plataforma faz com que seja difícil prever resultados e traçar metas para a incorporação da nova metodologia frente ao método tradicional de trabalho.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 OBJETIVO GERAL

Auxiliar empresas e profissionais do setor de projetos na previsão de resultados a serem obtidos com a melhoria de seus processos de projeto através da implantação da metodologia BIM, fomentando a evolução tecnológica, aumento da eficiência e qualidade no setor da construção civil nacional.

1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Explorar algumas ferramentas BIM disponíveis no mercado sob a ótica dos principais problemas de qualidade encontrados no processo de projeto;
- Demonstrar como a melhoria de qualidade no processo de projeto pode impactar no aumento de tempo disponível para desenvolvimento de projeto, devido à redução de erros e retrabalhos;
- Apresentar métricas que ilustrem os ganhos obtidos no processo de projeto com a implantação de BIM.

1.3 MÉTODO DE PESQUISA

O método utilizado para a realização deste trabalho consistiu na revisão bibliográfica sobre qualidade de projetos de engenharia e tipos de ferramentas BIM existentes no mercado, sendo em seguida realizada uma pesquisa-ação que teve como estudo de caso uma empresa projetista de engenharia antes e após a implementação dessas ferramentas.

A revisão bibliográfica teve como foco o levantamento de conceitos sobre qualidade como um todo e especificamente de projetos para a construção civil, identificando quais são as principais causas que levam à falta de qualidade no setor projetista e quais ferramentas BIM são responsáveis por auxiliar o processo de garantia da qualidade de projetos.

A pesquisa-ação retrata a implantação de ferramentas BIM para melhoria da qualidade do processo de projeto em uma empresa multidisciplinar de projetos de engenharia na qual o autor do presente trabalho colaborou ativamente durante todo o processo, caracterizando um método de pesquisa-ação (TRIPP, 2005). A pesquisa foi desenvolvida através da análise dos indicadores de qualidade antes e após a implantação das ferramentas BIM, da análise do gasto de recursos em retrabalhos devido a erros internos e da análise dos resultados dos projetos.

1.4 ESTRUTURAÇÃO DO TRABALHO

Este trabalho é dividido em quatro capítulos, os quais apresentam o seguinte conteúdo:

Capítulo 1: São apresentadas a introdução, justificativa, objetivos, método de pesquisa e estruturação do trabalho.

Capítulo 2: Exibe a revisão bibliográfica sobre conceitos de qualidade e ferramentas BIM de melhoria da qualidade do processo de projeto.

Capítulo 3: Expõe o estudo de caso de implantação de ferramentas BIM de melhoria da qualidade do processo de projeto, partindo-se da apresentação da estrutura e necessidades da empresa estudada e demonstrando o uso destas ferramentas em um projeto piloto.

Capítulo 4: Considerações Finais.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 QUALIDADE DE PROJETOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL

Qualidade é um conceito espontâneo e inerente a qualquer situação, contudo, sua apreciação e as técnicas e métodos para esta análise devem ser adequadas ao tipo de produto que está sendo analisado (MARSHALL JUNIOR et al., 2012). Marshall Junior et al. (2012) ainda apresentam que, ao planejar, ordenadamente, as fases que constituem a execução de um trabalho ou tarefa, envolvendo seu processo, suas matérias-primas, suas atividades executadas e seus produtos gerados, é possível colher diversos dados sintetizados e identificar pontos críticos, possíveis otimizações e, principalmente, as alterações e flutuações devidas as causas normais (inerentes à natureza do processo) e as devidas a causas anormais ou específicas.

Pensando no setor da construção civil, Zanettini sugeriu o seguinte significado de qualidade para Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC):

Qualidade é a adequação à cultura, aos usos e costumes de uma dada época, ao ambiente no qual a obra se insere, à evolução científica, tecnológica e estética, à satisfação das necessidades econômicas, à razão e à evolução do homem. (ZANETTINI, 1997 apud FABRICIO, 2004, p. 3)

Realmente, a complexidade da indústria da construção leva a entender a qualidade como sendo um aspecto composto de vários fatores. Segundo Garvin (1984), o conceito de qualidade pode ser entendido de diversas maneiras, variando de acordo com a ótica de quem o aplica (Enfoque na Fabricação, Enfoque Transcendental, Enfoque no Usuário, Enfoque no Valor, Enfoque no Produto). Desta forma, durante a construção e vida útil de um edifício, são feitas análises por diferentes pontos de vista, cada um valorizando características específicas para a determinação da qualidade do empreendimento.

Tendo como exemplo o caso de um edifício residencial, no período de lançamento e venda, os requisitos que proporcionam qualidade ao empreendimento podem ser considerados como aprovação do produto pelos potenciais consumidores e rapidez na venda das unidades; já na etapa de execução deste empreendimento, a qualidade pode se embasar em critérios de produtividade, limpeza da obra, segurança dos trabalhadores e cumprimento das especificações de projetos.

Para os consumidores, a qualidade de um produto imobiliário tende a ser avaliada separadamente em dois momentos: durante a compra, são avaliados critérios como localização, custo-benefício e disposição de ambientes. Já em um segundo momento, durante o uso e operação de um empreendimento, novos critérios vão sendo adicionados à lista de requisitos de qualidade que um produto imobiliário deve atender. Desta forma, a manutenibilidade do edifício, por exemplo, pode não ser considerada como característica essencial no momento da compra, porém, ao longo de sua vida útil o peso deste quesito começa a ser evidenciado e torna-se de suma importância na avaliação dos usuários.

A luz do entendimento de que a qualidade pode ser interpretada de diferentes formas de acordo com a função que o imóvel possui em cada etapa do ciclo de vida da edificação para cada agente do processo, a qualidade global pode ser definida como a soma de todos os requisitos sob óticas parciais, sendo grande parte desses fatores passíveis de identificação e tratamento ainda em fase de projeto, garantindo que a qualidade seja intrínseca ao empreendimento.

Em meio às diferentes interpretações dadas para qualidade durante todo o ciclo de vida de uma edificação, é imprescindível realçar que o foco de todo o processo deve ser o usuário final, sendo essencial o atendimento de suas necessidades. A compreensão e consideração dos conceitos de qualidade levaram um pouco mais tempo para serem incorporadas às empresas projetistas, porém este cenário já há bastante tempo está se transformando (MELHADO, 2001). Através de exigências normativas, governamentais e mercadológicas, o peso da qualidade no momento da contratação de projetos tem aumentado.

Quando se fala em qualidade para projetos do setor AEC, deve ter-se em mente a subdivisão em duas definições, sendo uma pertinente ao projeto como sendo um produto concebido através de desenhos e documentos, que devem ser claros, objetivos e confiáveis para embasar as equipes de execução durante toda a produção do edifício; e outra, referente ao processo, onde o projeto se caracteriza como um serviço de organização e gestão de informações, onde as mesmas devem ser transmitidas, adequadas e compatibilizadas em cada empreendimento (NOVAES, 2001). Souza et al. (1994) segregam ainda a qualidade do projeto-produto em dois conceitos: a da solução do projeto e a da descrição do projeto. A qualidade relativa à solução de projeto seria atingida a partir de boas escolhas técnicas de engenharia e arquitetura, já a qualidade referente à descrição de projeto poderia ser expressa através da clareza e riqueza de detalhes com a qual a solução de engenharia e arquitetura é apresentada na documentação de projeto.

Assim, o projeto arca com um aspecto técnico e outro gerencial, sendo técnico, devido às soluções de engenharia e arquitetura adotadas, assim como detalhamentos dos vários projetos elaborados; e gerencial, por tratar-se de um processo que envolve muitos agentes que trabalham com complexa interdependência de tarefas através de diversas etapas de maturação de informações e obedecendo a prazos e custos pré-determinados.

No entanto, no cumprimento das responsabilidades sobre ambos os aspectos, os projetos não têm atendido às necessidades, tanto das fases de execução e incorporação quanto da fase de ocupação. A falta de integração com a produção e habitação das edificações provoca a desconsideração de requisitos produtivos e de manutenção durante o processo de desenvolvimento de projetos, causando detalhamentos pobres e pontos nebulosos na intersecção de diferentes disciplinas. Prejudica, assim, a composição dos projetos resultantes e, conseqüentemente, atribuindo aos agentes no canteiro de obra, responsabilidade por decisões, muitas vezes emergenciais. Como pontua Novaes (2001), deve-se fomentar discussões e melhorias tanto no projeto-processo como no projeto-produto.

2.2 PROJETO-PRODUTO

Para garantir a qualidade do projeto-produto, o mesmo deve possuir informações congruentes com as premissas, compatíveis com as demais disciplinas e aprovadas por todas as partes interessadas do empreendimento (NOVAES, 2001; SOUZA et al., 1994). Em harmonia com esse pensamento, Cruz e Qualharini (2004) apresentam o objetivo de que o projeto-produto “traduza fielmente o que foi projetado e, para que isso seja possível, é necessário que as convenções de representação dos elementos sejam seguidas”. A documentação técnica deve ser clara, bem apresentada, consistente e possuir desenhos, diagramas e esquemas suficientes para que o projeto seja compreendido facilmente. Desta forma, Souza et al. (1994) expõem que a qualidade do projeto é resultado direto da exibição objetiva e intuitiva do detalhamento da solução em sua fase executiva, através de toda sua documentação técnica. Cruz e Qualharini (2004) explicam que é possível observar que uma parcela dos erros de compatibilização acontece por má interpretação de desenhos devido sua baixa qualidade, acarretando em erros em toda a cadeia de projetos.

Existem pesquisas que comprovam a grande relevância da adequada representação de um projeto através de desenhos técnicos (ROMERO; SCHEER, 2009). Segundo Cruz e Qualharini (2004), a quantidade de desenhos deve ser o bastante para que o edifício seja representado de forma abrangente, tendo-se em vista que as informações devem estar dispostas ao longo do projeto cronologicamente de acordo com sua utilização durante as etapas de execução, preferencialmente reunidas na mesma folha, proporcionando melhor logística na obra. O número de vistas e detalhes deve ser extenso, impedindo que haja ambiguidade de entendimento na solução de projeto, sendo importante salientar a utilização de ferramentas capazes de produzir representações tridimensionais, que deveriam ser frequentemente utilizadas devido ao aumento do entendimento dos operários em obra.

A qualidade do projeto-produto pode ser obtida através de abrangente análise crítica das soluções disciplinares individualmente e como resultado global para o edifício, verificação de detalhamentos com o enfoque de garantir clareza para os executores e compatibilização física e conceitual entre projetos.

2.3 PROJETO-PROCESSO

Cruz e Qualharini (2004) comprovam em seus estudos que é indispensável para a qualidade dos projetos o cuidado na organização das etapas de projeto, na coordenação de projetos e com o planejamento como um todo. A coordenação dos projetos é crucial para que o processo transcorra da melhor maneira possível, abrindo campo para que os profissionais de cada disciplina se empenhem e consigam o melhor resultado global para o empreendimento.

A garantia da qualidade do projeto-produto deve ser feita através da gestão do projeto-processo (SOUZA et al., 1994), sendo que, segundo Novaes (2001), a qualidade deste último se dá através do controle das atividades por parte da coordenação de projetos, mantendo uma comunicação efetiva entre todas os colaboradores durante todas as etapas de elaboração e produção, mesmo que em diferentes intensidades ao longo de seu processo de desenvolvimento.

A comunicação entre os profissionais de projeto e obra também é um fator essencial para a melhoria da qualidade dos empreendimentos. Esta troca de conhecimentos deve se dar com a participação de ambos durante todas as etapas do empreendimento, desde a concepção até a operação (SOUZA et al., 1994). Desta forma, a eficiência da coordenação de projetos torna-se primordial para o sucesso do projeto, fazendo a conexão entre todas as partes interessadas, solicitando soluções alternativas em etapas de conceituação, verificando alinhamento entre premissas do cliente e projeto, assim como gerindo custos de construção e manutenção das soluções durante todo o processo.

Hoje em dia pode-se perceber que existem diversos erros recorrentes no processo de projeto para edifícios. Dentre eles destacam-se a falta de coordenação das tarefas que são executadas simultaneamente por diversos profissionais, falta de encadeamento entre atividades, escassez de conhecimento das técnicas construtivas por parte dos projetistas e lapsos de comunicação entre todas as partes interessadas (BAÍIA, 1998). Este autor também destaca o impacto dos problemas no processo de projeto que acarretam em falhas nas fases de construção (desperdícios) e de pós-ocupação (problemas patológicos).

A qualidade do projeto-processo deve ser analisada com foco no momento em que a etapa de projeto começa a dar lugar à etapa de execução. A partir desta ótica, ganha relevância a coordenação de projetos, responsável por manter o projeto alinhado com suas fases sucessoras e predecessoras. Para melhor desempenho em todo o ciclo de vida da edificação, torna-se fundamental a participação dos profissionais de projeto desde o planejamento até a manutenção do edifício, sendo essencial sua participação durante a construção. Através dessa integração entre as fases, os projetistas podem ter contato com os métodos construtivos do que se projeta, favorecendo a obtenção de informações importantes por parte dos elaboradores dos projetos e proporcionando que estes sejam melhores retratos do que será executado.

2.4 PARTICULARIDADES DE PROJETOS DE ENGENHARIA E ARQUITETURA

Observando-se o processo de elaboração de projetos para o setor de AEC, torna-se perceptível que o mesmo possui particularidades intrínsecas à sua produção, tornando-o diferente de projetos de outros setores e impactando diretamente em seus aspectos relativos à qualidade (AMORIM, 1998; BOBROFF, 1993).

Algumas particularidades relativas à elaboração de projetos podem ser observadas na Tabela 1, segundo (SANTOS, 2014):

Tabela 1 - Particularidades presentes no desenvolvimento de projetos de engenharia e arquitetura

PARTICULARIDADE	DESCRIÇÃO
Atividade Artesanal	Cada produto é gerado individualmente por uma ou mais pessoas. Independentemente do uso de ferramentas computacionais, cada documento ainda é um elemento exclusivo e não pode ter seu processo produtivo comparado com uma linha de produção seriada de uma fábrica.
Produto Fragmentado	O produto decorrente de um projeto é composto pela soma de diversos itens: especificações, desenhos, requisições e memoriais. Desta maneira, a qualidade do produto final depende diretamente da qualidade de cada peça do conjunto.
Heterogêneo e Não Seriado	Produto exclusivo e não replicável, concebido sob encomenda, que possui sua qualidade vinculada à definição e atendimento das reais necessidades de um cliente ou contratante.
A Qualidade Revela-se na Execução	Para o cliente ou contratante é difícil detectar eventuais falhas no projeto, o que gera retrabalhos durante a execução, onde os erros são identificados.
Grande Complexidade Inter-relacional	Devido à grande diversidade e ao alto número de profissionais envolvidos no projeto (usuários, clientes, projetistas, financiadores, construtoras) com interesses nem sempre convergentes e relações contratuais informais e pouco definidas, a avaliação da qualidade do projeto se torna dependente da avaliação de diversos agentes do processo.

Fonte: Adaptado de Santos (2014)

Diante da grande quantidade de agentes, exclusividade do produto e alto número de partes que se inter-relacionam de formas complexas, alguns problemas são recorrentes nos projetos de engenharia e arquitetura, podendo-se assim mapear pontos críticos durante o processo de elaboração.

Analisando-se o panorama de projetos para a construção civil, pode-se chegar à conclusão que algumas dificuldades são particularmente habituais em seu desenvolvimento, como a complexidade do fluxo de informações, multidisciplinariedade na execução do projeto e compatibilização.

2.4.1 COMPLEXIDADE DO FLUXO DE INFORMAÇÕES

Ndekugri et al. (2008, apud PEREIRA et al., 2011) apresentam que existe muita dificuldade na coleta de dados para embasamentos de projetos para AEC. Dentre as diversas causas deste tipo de falha, a principal é a dificuldade na transmissão de informações devido à complexidade do fluxo do processo de projeto, visto que muitas vezes clientes, projetistas e construtores possuem níveis de conhecimento distintos sobre o assunto, tornando turbulenta tanto a emissão quanto a recepção e processamento das informações.

2.4.2 MULTIDISCIPLINARIDADE DE PROJETOS

Uma edificação é composta por um conglomerado de instalações que se inter-relacionam para que o empreendimento opere corretamente. Assim, a complexidade do processo de projeto é resultado do alto número de disciplinas e suas conexões, que formam uma grande rede de interdependência e exigem um ritmo de execução preciso e sequenciado.

Sendo assim, o processo de elaboração de um projeto consiste em uma teia onde todos os colaboradores envolvidos trocam informações entre si e com os clientes. Devido às diferentes óticas sobre o projeto, causadas pelas distintas experiências e formações de cada indivíduo, podem ocorrer falhas de comunicação que podem ocasionar grandes impactos na concepção do edifício (OLIVEIRA; FABRÍCIO; MELHADO, 2004).

Oliveira, Fabrício e Melhado (2004) expõem um aspecto complicador associado à multidisciplinaridade na elaboração de projetos de edificações, onde frequentemente os projetos de cada disciplina são elaborados em ambientes fisicamente distintos, sendo reunidos apenas em fases avançadas de desenvolvimento ou já na etapa de preparação de obra. Esta prática acarreta em inúmeras incompatibilidades físicas e conceituais, gera áreas nebulosas nas interfaces interdisciplinares, causa improvisos paliativos durante a execução, falta ou excesso de materiais e redução de produtividade.

2.4.3 COMPATIBILIZAÇÃO DE PROJETOS

A Compatibilização de projetos pode ser definida como a análise da combinação dos diversos sistemas que coexistem em um edifício visando sua perfeita harmonia. Podendo também ser vista como a investigação de conflitos físicos entre os projetos das diferentes especialidades que constituem um empreendimento (SANTOS, 2014). Desta mesma forma, Picchi (1993) explica a compatibilização de projetos como sendo a tarefa de sobreposição de todos os projetos com a intenção de detectar interferências, assim como organizar reuniões entre projetistas e coordenação de projetos afim de solucionar as incompatibilidades encontradas.

A título de exemplificação, a atividade de compatibilização visa resolver conflitos entre disciplinas presentes nas edificações, como interferências entre dutos de ar condicionado e vigas do projeto estrutural, tubos de esgoto colidindo com eletrocalhas, elementos estruturais aflorando nos ambientes e prejudicando o layout arquitetônico, considerações de potência divergentes entre projeto de ar condicionado e elétrico, loteamento de shafts, forros e áreas técnicas.

Desta forma, diversos autores, como Müller e Saffaro (2011), apontam a falta de compatibilização entre projetos como a principal causadora de problemas em obra. Em seus estudos, Formoso (1993, apud SANTOS, 2014) evidenciou a incompatibilidade como falha mais recorrente sinalizada pelas construtoras (Tabela 2).

Tabela 2 - Falhas recorrentes de projetos sinalizadas por construtoras

TIPO DE PROBLEMA	(%)
Incompatibilidade entre diferentes projetos	53,0
Erros ou diferenças de cotas, níveis, alturas	53,0
Falta de detalhamento dos projetos	48,0
Falta de discriminação de materiais e componentes	47,0
Detalhamento inadequado dos projetos	47,0
Discriminação falha de materiais e componentes	26,0

Fonte: Formoso (1993)

De modo geral, a compatibilização se processa por meios manuais ou digitais (SILVA, 2004). A autora explica que a atividade pode ser executada das seguintes maneiras:

- Manualmente: por meio de plantas baixas impressas, ou utilizando sobreposição com papéis translúcidos nos projetos de cada disciplina, são sinalizadas as incompatibilidades descobertas com caneta e identificadas as disciplinas encarregadas por sua solução;
- Digitalmente: são realizadas sobreposições dos projetos de todas as disciplinas através de ferramentas computacionais de desenhos bidimensionais ou de modelagens tridimensionais para a identificação das incompatibilidades, e subsequente determinação das disciplinas responsáveis por sua resolução.

Muitos autores discorrem sobre metodologias de elaboração de projeto que favoreçam a produtividade e qualidade, sendo os mais usuais apresentados a seguir:

- Engenharia Sequencial, fundamenta-se no modelo de conversão que é definido por Koskela (1998) como a transformação de entradas em saídas de maneira sequenciada (SANTOS, 2014);
- Engenharia Simultânea, descrita por Lugli & Naveiro (1996 apud SANTOS, 2014) como método de organização de tarefas de projeto que tem como foco, sempre que possível, a elaboração em paralelo ao invés de sequencialmente.

Contudo a Engenharia Sequencial demonstra diversas ineficiências como processo, gerando longos intervalos de ociosidade onde os projetistas precisam aguardar o término da tarefa anterior para dar início a sua, além dos grandes retrabalhos causados pela detecção de incompatibilidades após os detalhamentos (TZORTZOPOULOS, 1999). Lessa et al. (1999 apud SANTOS, 2014) ratificam que a utilização dessa metodologia ocasiona constantes retrabalhos e atrasos, que acabam encarecendo o processo de projeto.

Nessa conjuntura, devido à necessidade de aumento de eficiência e velocidade na produção de edifícios, a Engenharia Sequencial tornou-se menos usual, dando lugar à Engenharia Simultânea (SANTOS, 2014). Apesar disso, a utilização de cada metodologia deve ser estudada conforme cada projeto, podendo ser utilizado ambas durante a elaboração.

Desta maneira, a atividade de coordenação de projetos se mostra primordial desde os primeiros momentos do projeto (GOZZI; OLIVEIRA, 2001). Em harmonia sobre a questão, Rodríguez e Heineck (2001) expõem que os projetos devem ser elaborados com foco na compatibilização desde seus estudos iniciais. Diante deste contexto de dificuldades no processo de produção de projetos de engenharia e arquitetura, a metodologia BIM (*Building Information Modeling*) ganha cada vez mais espaço dentro das empresas projetistas por se tratar de uma ferramenta 3D que facilita o processo de Engenharia Simultânea, através de plataformas que favorecem o projeto colaborativo.

Esta tecnologia é aplicada através do uso de diversos softwares de modelagem e análise que visam a construção de modelos virtuais de edifícios, onde cada elemento possui classificação e propriedades específicas de sistemas da construção, permitindo assim que o projetista possa simular a construção e operação do edifício digitalmente. Dentre as inúmeras vantagens que o BIM traz para o processo de projeto, destacam-se a melhoria do fluxo de informações através de ferramentas de integração e compartilhamento, a oportunidade de integração multidisciplinar na conceituação de projetos com a utilização de ferramentas de análise de desempenho e a compatibilização conceitual entre projetos através da criação de scripts de programação visual para verificação de incompatibilidades técnicas.

2.5 FERRAMENTAS BIM

A principal vantagem da metodologia BIM é a melhoria da qualidade de projetos de engenharia e arquitetura, pois o projeto em si se torna um modelo virtual do que será o edifício após sua construção. Dentre as diversas ferramentas que estão disponíveis no mercado, serão apresentados três softwares que visam auxiliar os projetistas na resolução de problemas de concepção, compartilhamento de informações e execução de tarefas repetitivas.

2.5.1 FERRAMENTAS BIM PARA INTEGRAÇÃO E COMPARTILHAMENTO

Um problema recorrente em projetos da construção civil é a transmissão de informações. Dentre os obstáculos está a grande intensidade no fluxo de informações durante todo o processo de projeto devido ao alto grau de interdependência entre as diversas disciplinas, assim como o alto número de pessoas comprometidas durante todo o ciclo de vida da edificação, cada qual com diferentes percepções e distintas experiências profissionais, o que leva a divergências de entendimento. Além disso, segundo Dawood et al. (2002), atualmente, em grande parte dos projetos, diversas equipes com diferentes especialidades trabalham em locais separados. Nesta situação, a falta de colaboração entre todos os participantes pode causar baixa produtividade.

Segundo Lino, Azenha e Lourenço (2012), há uma série de obstáculos que atrapalham a completa implantação do BIM entre os profissionais da construção civil, sendo vários referentes a dificuldades técnicas, que vem sendo solucionados por fabricantes de softwares, pesquisadores e instituições. Porém, as maiores adversidades são encontradas na resistência das pessoas e organizações a mudanças de seus processos de trabalho, como resultado tem-se a carência de equipes que conseguem a adoção da metodologia por todos os profissionais de projeto. Desta maneira, limita-se a colaboração completa logo de início, que é um dos grandes potenciais do BIM, e logicamente reduz-se a importância e os resultados dados pela implantação deste novo processo.

O grupo de softwares que propiciam a utilização da metodologia BIM podem ser divididos em ferramentas de autoria e integração (TOBIN, 2008). Os softwares de autoria são responsáveis pela construção e análise de desempenho do modelo, onde o trabalho de projeto é feito olhando-se para cada disciplina, ou subdisciplina individualmente. Já as ferramentas de integração são as capazes de reunir todos os modelos do projeto, a fim de compatibilizá-los física, temporal e dinamicamente através de relatórios de interferências e elaboração de sequenciamento de obra utilizando o cronograma de execução do empreendimento. Além das ferramentas citadas pelo autor, existem os aplicativos responsáveis pelo compartilhamento dos modelos, que têm a função facilitar a comunicação entre todas as partes interessadas do projeto através de servidores locais ou em nuvem.

Com o aumento do uso da metodologia BIM por parte das empresas projetistas, tornou-se comum o uso de softwares de compartilhamento e integração de modelos, evoluindo a aplicação dos conceitos da tecnologia (GU; LONDON, 2010). Para Wilkinson (2005), as ferramentas de colaboração são definidas como um conjunto de tecnologias que estabelecem conexão entre duas ou mais partes interessadas, propiciando o compartilhamento do processo de criação através de trocas de experiências, competências e conhecimento em um ambiente de respeito mútuo e transparência, a fim de determinar a melhor solução global para um projeto.

Através da utilização de plataformas que favoreçam e organizem a troca de informações, a melhoria da qualidade do projeto-processo deixa de ter grande dependência da disciplina do profissional de coordenação de projetos e dos projetistas e passa ser uma ação natural da fase de elaboração do projeto. Para Andery e Veiga (2013), sistemas que permitem a colaboração virtual propiciam a aplicação integral dos conceitos de engenharia simultânea, visto que essas ferramentas carecem de maior organização do fluxo de informações para serem implantadas, especialmente em projetos que possuam grande número de partes interessadas com diversas especialidades.

Desta maneira, é fundamental que o software adotado seja apropriado para cada processo, tornando a coordenação do projeto mais eficiente e com maior controle das atividades. Através da melhor gestão, as companhias conseguem traçar mais precisamente seus objetivos estratégicos e metas (MORAES; LAURINDO, 2003). As ferramentas de compartilhamento de modelos permitem análise do fluxo de informações de projeto, tornando mais fácil o controle do processo e facilitando a gestão operacional por parte do coordenador de projetos. Assim, segundo Achten e Beetz (2009), torna-se nítida a vantagem que o uso deste tipo de ferramenta traz na gestão de dados do processo de projetos para a construção civil, sendo já uma realidade o seu uso pelas empresas do setor.

Para Kvan (2000), a expressão “projeto colaborativo” ser vista como uma inovação pelos profissionais da construção civil é consequência das antigas práticas de projeto, onde diversos especialistas trabalham individualmente e se reúnem em momentos específicos para análises críticas e negociação. Assim, o projeto torna-se uma tarefa inerente, individual e paralela, fragilmente integrada e com soluções abordadas a partir de óticas particulares de cada disciplina. Deve-se procurar incessantemente a superação do processo de colaboração segmentada.

Ruschel et al. (2013) desenvolveram uma pesquisa sobre algumas ferramentas BIM de integração e colaboração de modelos, analisando suas funcionalidades. Para tal, foram selecionados os softwares de integração Navisworks, Synchro e Solibri, sendo o último uma ferramenta integradora focada em checagem de regras baseada em formato *Industry Foundation Classes* (IFC). Para a análise de ferramentas compartilhadoras foram escolhidos os dispositivos BIM-Server, Revit-Server/Bluestreak e EDMmodelServer, sendo apenas a primeira desenvolvida e distribuída como *open source*. Os resultados obtidos são mostrados nas Tabelas 3 e 4.

Tabela 3 – Ferramentas Integradoras

Ferramenta Integradora.			
PRINCIPAIS FUNCIONALIDADES	NAVISWORK	SOLIBRI	SYNCHRO
Reorganizar o modelo			X
Integração de múltiplos modelos criando modelo composto	X	X(ifc)	X
Navegação e visualização	X	X	X
Identificação de conflitos (físicos - F, temporais - T, dinâmicos - D)	F,T,D	F e D	F,T,D
Emissão de relatórios e marcações sobre o modelo	X	X	X

Fonte: Ruschel et al. (2013)

Tabela 4 – Ferramentas Compartilhadoras

Ferramenta Compartilhadora.			
FUNCIONALIDADES	REVIT-SERVER / BLUESTREAK	BIM-SERVER	EDMmodelServer
Gestão de usuários (Estrutura hierárquica de administração e registro de acesso)	X	X	X
Banco de Dados que consolida modelos (com controle de transações)	X	X	X
Controle de versões	X		X
Compartilhamento de documentos e relatórios	X*	X	X
Recursos de visualização	X*	X	X
Trabalho distribuído em tempo real	X	X	X

**Nota: Apenas para o Bluestreak e também o único que faz comunicação síncrona entre partes envolvidas*

Fonte: Ruschel et al. (2013)

Através da efetiva colaboração de todos os participantes do projeto, torna-se possível uma grande troca de experiências, possibilitando melhores resultados para todo o ciclo de vida do empreendimento. Entretanto, como destaca Favaretto (2007), informações de baixa qualidade podem prejudicar a tomada de decisão no processo de projeto na cadeia produtiva, principalmente no quesito referente ao controle da produção. Os sistemas de informação normalmente utilizados para suporte e para controle da produção são limitados para a geração de informações abrangentes e integradas.

2.5.2 FERRAMENTAS BIM PARA ANÁLISE ENERGÉTICA

O conceito de desempenho pode ser visto como o comportamento durante o funcionamento, sendo que para empreendimentos da construção civil, este comportamento pode ser entendido como os requisitos mínimos para uso de uma edificação, conforme sua função, ao longo de um período de tempo. Destacam-se entre as qualidades essenciais para uma edificação os confortos térmico, acústico e luminoso (SACHS e NAKAMURA, 2013).

Dentre os diversos quesitos que asseguram o desempenho de uma edificação, existe uma busca cada vez maior por soluções que reduzam o consumo de energia dos empreendimentos. Assim, as ferramentas BIM de análise energética surgem como instrumentos importantes para auxiliar arquitetos, engenheiros mecânicos e engenheiros eletricitas na concepção dos projetos de envoltória, ar condicionado e luminotécnica, permitindo, através da análise multidisciplinar, gerar grandes incrementos no desempenho energético da edificação. Segundo Eastman et al. (2008), com a utilização da metodologia BIM, torna-se viável para todos os projetos a análise de consumo energético das edificações através de simulações luminosas, favorecendo o aumento do uso de luz natural através de estudos de redução do efeito de ofuscamento, diminuição do aquecimento causado pela radiação solar e comparação de custos de soluções.

Desta forma, a utilização de softwares que utilizam a tecnologia BIM permite a simulação das edificações, ainda na etapa de projeto, mostrando que essa metodologia é uma ferramenta valiosa na concepção de empreendimentos, através do teste de ambientes previamente à sua construção (MITCHELL, 2008), auxiliando não apenas na redução do consumo energético, mas também na melhoria do bem-estar ambiental para os usuários de um edifício, unindo forma e função para ampliar a experiência de seus usuários.

O conforto térmico de um ambiente é um fator fundamental para o bem-estar de seus usuários, tendo influência direta na eficiência das atividades efetuadas neste espaço. Para uma análise completa deste quesito, deve ser estudada a influência de todas as fontes de troca de calor simultaneamente em diversos cenários climáticos, sendo a avaliação precisa viável apenas através de ferramentas de simulação computacional (CBIC, 2013). Assim, o desempenho energético de uma edificação deve ser visto como propriedade essencial do empreendimento, sendo um objetivo de todos atingir o conforto desejado para os usuários através do menor consumo de energia possível (LAMBERTS; DUTRA; PEIREIRA, 2014).

Para isso, se fazem necessários análises profundas de arquitetura e engenharia no momento da concepção do projeto, fazendo com que o atributo de eficiência energética esteja plenamente incorporado ao empreendimento. Santos (2012) aponta benefícios que os escritórios de arquitetura podem auferir com o uso do BIM, que são os estudos de alternativas de projeto, visto que a edição dos modelos em sistemas paramétricos é mais rápida e simples, além da velocidade trazida pela possibilidade de uso do modelo arquitetônico como alimentação para o

processo de análise de desempenho, ambos fatores propiciam a melhoria da qualidade das soluções empregadas nos projetos.

Por meio do desenvolvimento das alternativas de projeto durante a concepção do empreendimento, deve-se atentar para a influência da envoltória no desempenho energético, buscando o equilíbrio entre iluminação natural, estética arquitetônica e conforto térmico. Para Lamberts, Dutra e Pereira (1997), através dos estudos deve-se ter cautela no uso da radiação solar, que ao mesmo tempo que proporciona luz natural, pode gerar aumento da temperatura do ambiente, exigindo maior consumo de resfriamento. O conceito fundamental para uma boa solução energética é buscar o ponto de intersecção entre o conforto térmico, visual e o baixo consumo.

Com a democratização dos sistemas de ventilação, resfriamento, aquecimento e evolução dos dispositivos de iluminação artificiais os projetistas arquitetônicos deixaram de se preocupar com o estudo bioclimático do local de implantação dos projetos, focando apenas em tendências estéticas durante a concepção de edifícios e levando a normalização das soluções de envoltória ao redor do mundo (KRYGIEL & KIES, 2008). Desta forma, a arquitetura se tornou padronizada e não adaptável ao ambiente ao qual está inserida, permitindo com que as falhas conceituais em relação ao conforto térmico fossem corrigidas através dos projetos de sistemas prediais em fases avançadas do projeto arquitetônico, onde as alterações necessárias para aumento de desempenho acarretam em grandes retrabalhos. Segundo Florio (2007), com a implantação da metodologia BIM e uso das ferramentas de simulação torna-se praticável a antecipação de definições que anteriormente só eram possíveis em etapas evoluídas do processo, tornando a evolução do projeto mais uniforme durante suas fases.

Alguns softwares de análise não são capazes de importar todas as informações necessárias diretamente do modelo, obrigando os projetistas a reinsserir os dados na simulação ou remodelar simplificada a edificação dentro da ferramenta para que possam ser feitos os cálculos e emitidos os relatórios. Segundo Christakou (2004) este problema, juntamente com interfaces não amigáveis, manuais de difícil entendimento e falta de instrução sobre o tema de conforto ambiental são barreiras para a adoção desta tecnologia por parte de alguns arquitetos.

Para Negendahl (2015), ultimamente os softwares de autoria estão em busca do desenvolvimento de ferramentas de análise e simulação em uma mesma plataforma (Building Performance Simulations - BPSs). Desta maneira, torna-se possível a análise de desempenho dentro do software de autoria, abrindo-se possibilidades para conceitos complexos para arquitetos e engenheiros durante a fase de concepção do projeto. Este movimento da indústria de softwares de autoria visa a incorporação da análise energética já na fase de concepção arquitetônica, facilitando a adoção deste processo através de relatórios de fácil entendimento, interfaces amigáveis e sem a necessidade de exportação, fazendo com que os conceitos de desempenho estejam cada vez mais inserido nos projetos desde suas fases iniciais.

É importante salientar que as simulações geradas possuem precisão proporcional a exatidão dos dados inseridos pelo projetista, sendo assim o resultado uma estimativa do comportamento da edificação durante sua operação (AUTODESK SUSTAINABILITY WORKSHOP, 2017). Assim, as análises energéticas servem como auxílio à tomada de decisão dos arquitetos e engenheiros, sendo de extrema importância que estes estudos sejam feitos no início do processo de projeto para garantia de maiores impactos para a qualidade das edificações (LAMBERTS; DUTRA; PEIREIRA, 2014).

2.5.3 FERRAMENTAS BIM DE PROGRAMAÇÃO VISUAL

Atualmente, muitos setores procuram maneiras de melhorar sua qualidade e eficiência em seus processos por meio da automatização de atividades repetitivas. Para o ramo de serviços, a solução que está sendo utilizada é a elaboração de algoritmos capazes de desenvolver grande parte das tarefas de baixo nível intelectual agregado, permitindo que os profissionais concentrem seus esforços em atividades que exigem alto grau de raciocínio. Assim, os profissionais têm buscado maior conhecimento sobre métodos de elaboração de algoritmos que os auxiliem na execução de atividades cotidianas e, conseqüentemente, na melhoria da produtividade.

Para Terzidis (2006) o algoritmo é uma combinação de atividades visando a resolução de um problema conhecido, ou também pode ser visto como uma busca por variações de possíveis soluções aleatórias para um problema parcialmente conhecido. Observando-se o algoritmo a partir dessas duas óticas, podemos entender sua elaboração como a tradução de um problema em um conjunto de etapas finitas, coerentes e racionalmente lógicas para se resolver um

problema. Segundo Kant (1985) a criação de um algoritmo consiste na conversão de esquemas de sequenciamento lógico, facilmente legíveis ao ser humano, em uma linguagem computacionalmente compreensível para atingir propósitos pré-estabelecidos.

Assim, a construção de algoritmos deve ser orientada por um caminho racional visando processos diretos e eficientes para resolução do que se propõe, sempre com foco em uma manipulação intuitiva e interfaces amigáveis por parte do usuário. Para Giannetti e Almeida (2006), dentre as diversas formas de comunicação e expressão intelectual emitidas pelos usuários, o computador assimila a entrada de informações através de seleção, escaneamento, clique, etc. O resultado de saída é consequência de um processamento realizado pelo algoritmo e apresentado através de uma interface. Vale ressaltar que o tempo de processamento também é um quesito importante, visto que a resposta computacional deve ser dada sem atraso, viabilizando o uso.

Neste contexto, pode-se observar que o intermédio entre usuário e equipamento computacional deve ser feito por meio de algoritmos, que são responsáveis pela tradução das vontades do operador em uma linguagem lógica que permite o entendimento do computador e posterior execução dos comandos necessários para atendimento das ordens dadas (LÉVY, 1999).

Para os projetos da construção civil, onde grande parte do tempo gasto na elaboração é em tarefas manuais, trabalhosas e de baixo valor agregado, a utilização de algoritmos torna-se uma grande ferramenta. Segundo Anderle e Allen (2016), automatizar atividades de modelagem e procedimentos aumentam o rendimento dos projetistas, reduzindo custos de elaboração e acelerando o processo de projeto. Leitão, Santos e Lopes (2012) destacam que essa automatização se tornou possível nos modelos BIM por meio das Linguagens de Programação Visual (em inglês *Visual Programming Language – VPL*), que inicialmente eram utilizadas apenas para geração de modelos conceituais paramétricos.

De acordo com Kensek (2015), a busca por ferramentas de programação visual por parte de profissionais de projetos para a construção civil tem crescido no mundo inteiro, especialmente em função destas ferramentas permitirem a geração de formas complexas e manipulação de parâmetros através de algoritmos de fácil entendimento.

Este paradigma de programação vem democratizando a criação de algoritmos e facilitando o desenvolvimento de programas por profissionais com pouca ou nenhuma experiência neste campo, como engenheiros civis e arquitetos. Com isso, os profissionais conhecedores das problemáticas cotidianas do mundo da construção conseguem codificar e resolver problemas de forma muito mais eficiente.

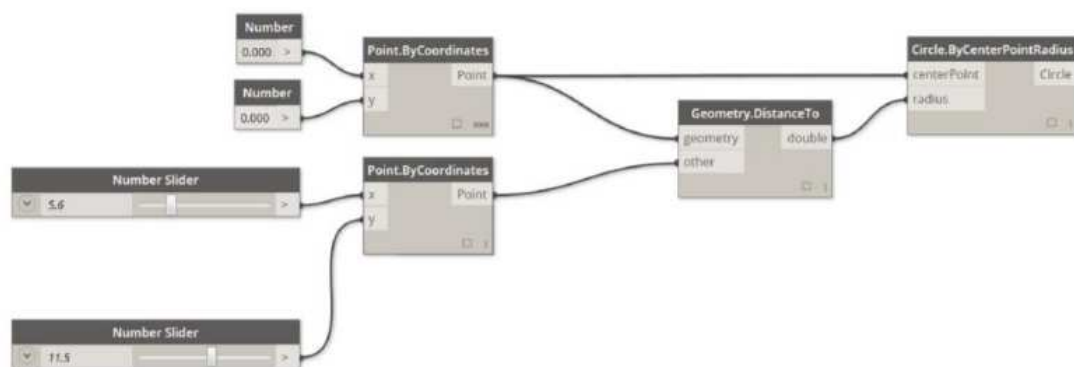
Basicamente, as funções das linguagens de programação escritas e visuais são iguais, ambas funcionam a partir de uma certa lógica de comandos com o objetivo de criar ou alterar algo dentro do modelo. O principal diferencial da programação visual é a interface com o programador, que se torna intuitiva por ser realizada através da interligação entre caixas de comando chamadas “nós”, constituídas a partir de códigos em linguagem Python, por exemplo. Por meio da conexão de vários nós, é possível criar redes de comando chamadas “scripts”, que agem no modelo de forma automatizada. As Figuras 1 e 2 apresentam as diferenças entre um código tradicional e outro visual, ambos com o objetivo de desenhar um círculo a partir de um ponto (PAVLOV, 2015).

Figura 1- Exemplo de programação textual

```
myPoint = Point.ByCoordinates(0.0,0.0,0.0);
x = 5.6;
y = 11.5;
attractorPoint = Point.ByCoordinates(x,y,0.0);
dist = myPoint.DistanceTo(attractorPoint);
myCircle = Circle.ByCenterPointRadius(myPoint,dist);
```

Fonte: Pavlov (2015).

Figura 2 - Exemplo de programação visual



Fonte: Pavlov (2015).

Nos últimos tempos, com a evolução dos softwares BIM, a utilização das VPLs se expandiu no setor de projetos. Aplicativos que inicialmente eram focado na geração de formas arquitetônicas através da manipulação paramétrica passaram a ser utilizados para automatização de atividades durante o fluxo de trabalho dos projetos BIM, possibilitando, por meio da manipulação de parâmetros inseridos nos modelos, diversas funções que aumentam a eficiência e controle dos usuários sobre o processo projetual (AUTODESK, 2016). Dentre as diversas ferramentas disponíveis no mercado, destacam-se o Dynamo (a ferramenta incorporada ao Autodesk Revit), a ferramenta Generative Components (que integra o Bentley OpenBuildings¹) e o Grasshopper, que trabalha de forma integrada com a ferramenta de modelagem 3D Rhinoceros da empresa McNeel e com o software de autoria Graphisoft ArchiCAD.

¹ Antigo Bentley AECOSim.

3 ESTUDO DE CASO

A empresa escolhida para a elaboração deste estudo de caso foi definida pela participação nela do autor deste trabalho durante todo o processo de implantação da metodologia *BIM*, desde a escolha de softwares até o desenvolvimento de famílias, *Templates*, *BIM Mandate* e *BIM Execution Plan* (BEP), assim como na coordenação de seus primeiros projetos com esta plataforma. Desta maneira, tornou-se possível a observação de possíveis melhorias no processo de projeto através de ferramentas que auxiliam a empresa a extrair mais benefícios da metodologia, gerando melhores resultados no tocante a qualidade e colaboração em seus produtos.

3.1 APRESENTAÇÃO DA EMPRESA

A empresa que serviu como base para a elaboração deste estudo trata-se de um escritório de projetos de engenharia localizado na cidade de São Paulo que fornece soluções para as disciplinas de estruturas de concreto, estruturas metálicas, ar condicionado, instalações elétricas, automação predial e dados, prevenção e combate a incêndio, instalações hidrossanitárias e gás.

O escritório é especializado na elaboração de projetos de uso misto, contendo auditórios, salas administrativas, salas de aula e apartamentos, tendo fornecido mais de 10 projetos desta tipologia nos últimos 2 anos, também possuindo em seu portfólio projetos para empreendimentos comerciais, residenciais, hoteleiros, hospitalares, centros de eventos e supermercados. Os trabalhos fornecidos abrangem todas as etapas de projeto, atendendo as atividades de levantamento de instalações existentes, anteprojeto, projeto básico, projeto legal, projeto executivo, planejamento 4D, assistência técnica a obra e consultoria. Atualmente, a organização trabalha com 100% de seus projetos sendo elaborados utilizando a metodologia de Modelagem da Informação da construção (BIM).

3.1.1 ESTRUTURA ORGANIZACIONAL

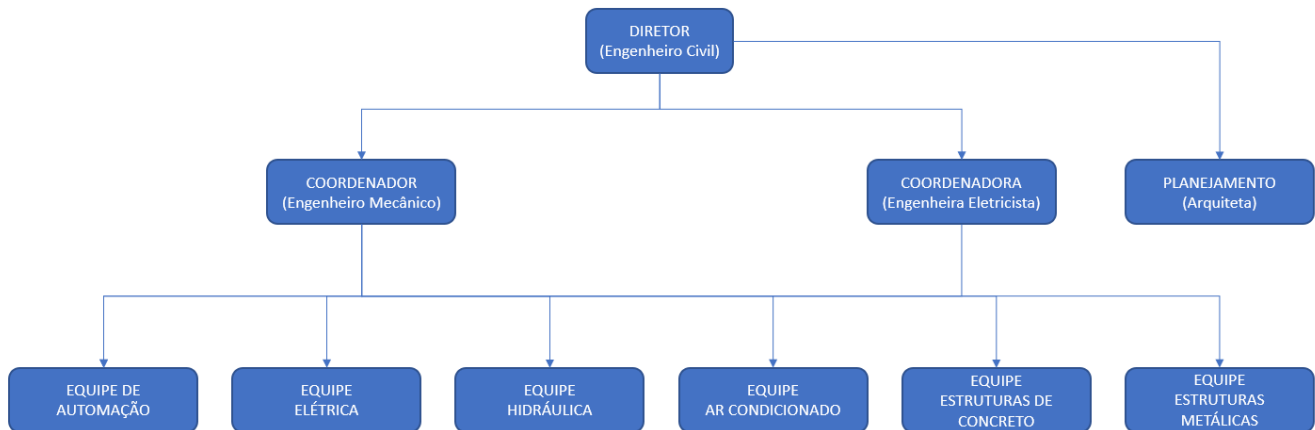
A empresa possui estrutura organizacional matricial, onde os projetistas possuem uma liderança técnica de cada área de conhecimento e uma coordenação referente ao projeto em que está locado. Por se tratar de uma empresa de pequeno porte, o diretor e fundador é responsável pela área comercial, financeira e de recursos humanos, assumindo também a liderança técnica das disciplinas de engenharia civil, sendo elas estruturas de concreto, estruturas metálicas, prevenção e combate a incêndio, instalações hidrossanitárias e gás.

A equipe de coordenação é formada por um engenheiro mecânico e uma engenheira eletricista, que se dividem entre liderança técnica de suas respectivas áreas e coordenação de projetos. Quando estão desempenhando seus papéis de liderança técnica o engenheiro mecânico é responsável pela disciplina de ar condicionado e a engenheira eletricista responsável pelas disciplinas de instalações elétricas, automação predial e dados. Já quando assumem o papel de coordenação de projetos, cada um é responsável por um conjunto de projetos, organizando demandas, planejando tarefas, analisando projetos e mantendo constante contato com os clientes.

O time de projetistas que elaboram os projetos é composto por um engenheiro eletricista responsável pelo desenvolvimento dos projetos de automação e dados, dois engenheiros eletricistas responsáveis por instalações elétricas, dois engenheiros civis responsáveis por instalações hidráulicas, sanitárias, gás e incêndio, dois engenheiros civis responsáveis por estruturas de concreto, um engenheiro civil responsável por estruturas metálicas e um engenheiro mecânico responsável por ar condicionado, como mostra a Figura 3. É importante destacar que todos os projetistas também são expostos a reuniões com clientes e participam ativamente de decisões importantes sobre os projetos, sempre sob orientação e validação de seus respectivos coordenadores e líderes.

Mais recentemente, com a implantação da Modelagem da Informação da Construção foi criada uma nova área composta por uma arquiteta responsável pela operação do cronograma de produção, desenvolvimento BIM e modelagem de bases arquitetônicas, esta última para projetos onde o projetista de arquitetura ainda não trabalha com a metodologia BIM.

Figura 3 – Organograma da empresa



Fonte: Autor.

3.1.2 PROCESSO DE PROJETO

No início de todo projeto, são reunidos todos os participantes do novo empreendimento para definir diversos assuntos referentes ao seu desenvolvimento. Para garantir que todas as partes tenham a mesma compreensão do que será produzido, é feita uma primeira reunião de *kick-off* para definir objetivos, recursos, restrições, prazos e cronogramas referente ao projeto em pauta, além de apresentar todos os aspectos e diretrizes de projeto utilizados pela empresa, podendo ser adicionado qualquer outra solicitação específica de cada cliente. Este procedimento é realizado tendo em vista que com essas indefinições, torna-se subjetivo para os participantes do projeto o entendimento do que deve ou não ser incluído no modelo, e quais informações podem ou não ser utilizadas. Todos itens consolidados são registrados no plano de execução BIM (*BIM Execution Plan – BEP*), o qual estabelece processos e necessidades de acordo com o respectivo cliente, sendo os conteúdos abrangidos os seguintes:

Preparação para o início do projeto:

- Definição dos usos BIM;
- Definição das equipes e de suas respectivas responsabilidades;
- Demarcação da propriedade intelectual dos modelos e dos seus componentes;
- Definição da Estrutura Analítica de Projeto e dos marcos dos usos BIM;
- Definição das diretrizes de modelagem;
- Definição dos softwares utilizados;

Diretrizes de projeto

- Definição das fases de projeto;
- Definição do nível de desenvolvimento do modelo;
- Definição dos procedimentos de colaboração;
- Definição dos procedimentos de controle e qualidade dos modelos;

Diretrizes de entrega de projeto

- Definição de cronograma e prazos de entrega;
- Definição dos formatos dos arquivos de entrega;
- Definição dos entregáveis.

Estas informações são necessárias para o desenvolvimento do projeto e são definidas, juntamente com o cliente, na reunião de *kick-off* e contempladas no Plano de Execução BIM (BEP). A partir da definição dos níveis de detalhamento para cada etapa de projeto, os cronogramas são analisados e revisados.

Em todo novo projeto é seguido o fluxo de trabalho estabelecido em comum acordo pelas empresas a fim de garantir a uniformidade e a precisão da localização dos projetos. Como padrão, são desenvolvidos modelos separadamente, dividindo-os em três partes macro, sendo elas terreno, construção e instalações.

A primeira parte engloba o desenvolvimento do modelo do terreno, que será a base de compartilhamento de coordenadas para o desenvolvimento dos modelos seguintes. Para que o modelo seja criado conforme o sítio real, é necessário que o cliente forneça as informações do levantamento planialtimétrico. Caso estas informações não sejam fornecidas, o desenvolvimento deste modelo é feito a partir da extração das mesmas pelo *Google Earth*. Nele também é inserida a geolocalização real para que seja possível realizar análises fundamentadas em dados reais. É importante lembrar que apesar deste modelo ser a base das coordenadas compartilhadas, os outros projetos não dependem do mesmo para serem desenvolvidos.

A segunda parte tem como foco o desenvolvimento dos modelos de construção, sendo eles os projetos de Estruturas e Arquitetura. No caso de o projeto arquitetônico ser desenvolvido e entregue pelos clientes em formato DWG, as equipes de ambas as disciplinas trabalham simultaneamente para desenvolver seus modelos. Enquanto a equipe de arquitetura adapta os desenhos para o formato RVT, a equipe de estruturas desenvolve os projetos a partir das indicações do arquivo recebido.

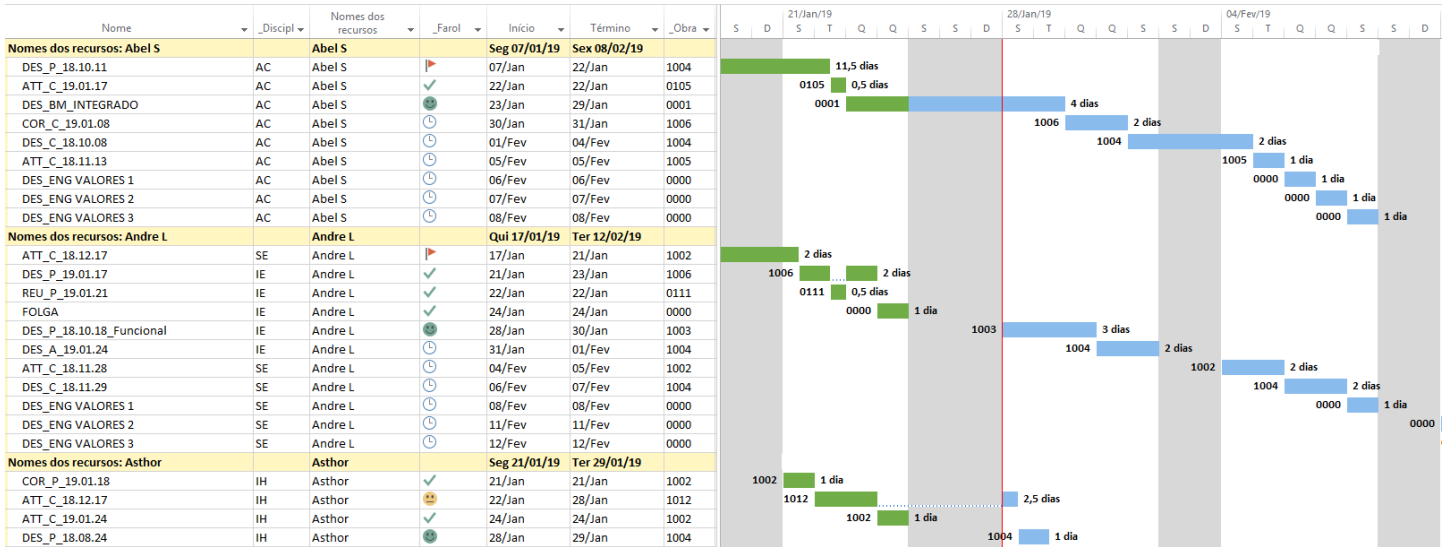
Para início da terceira parte, que engloba todos os projetos de instalações, são vinculados os modelos de estruturas e arquitetura, para agirem como base dos projetos. Com os projetos de construção modelados, todas as disciplinas de instalações são projetadas com o mesmo ponto base dos modelos de estruturas e arquitetura, desta forma, quando todos os projetos são vinculados em um mesmo arquivo, todos estão localizados no lugar correto em relação ao terreno.

No início de cada etapa de projeto, são desenvolvidas três tarefas sequenciadas de todas as disciplinas simultaneamente, com a intenção de tornar o processo de projeto mais colaborativo, sendo que, ao término de cada atividade, que normalmente dura 1 dia, é realizada uma reunião de apresentação das soluções elaboradas para cada engenharia participante, acompanhada de um relatório por disciplina.

A primeira tarefa consiste na organização dos Espaços, onde cada engenharia estuda suas necessidades de áreas técnicas e espaços nos entreforros e *shafts* por todo o projeto, de acordo com as soluções que estão sendo propostas, por meio da modelagem de infraestruturas e equipamentos estimados. Na segunda tarefa ocorre a compatibilização entre os projetos de instalações, de forma que cada disciplina estuda as necessidades técnicas das demais disciplinas apresentadas no dia anterior, com o auxílio de relatórios de *clashes* e passeios virtuais levanta-se principalmente os pontos que estejam em conflito ou inadequados em relação as necessidades do projeto como um todo. Na última tarefa é feita a compatibilização entre instalações, arquitetura e estruturas, fazendo com cada disciplina estude seus impactos no projeto arquitetônico e estrutural, avaliando melhorias e soluções mais eficientes para o projeto como um todo.

Após as tarefas iniciais de conceituação, a etapa de projeto é desenvolvida com todas as disciplinas trabalhando em paralelo, sendo as demandas organizadas através de reuniões todas as manhãs entre os coordenadores e a arquiteta responsável pelo planejamento. Para comunicação, um cronograma geral de produção, subdividido por projetista, é disponibilizado por e-mail para todos diariamente (Figura 4).

Figura 4 – Exemplo de cronograma de produção



Fonte: Autor.

Como forma de garantia da qualidade de todos os projetos realizados, os coordenadores de projeto fazem algumas verificações para controle interno das entregas, com o objetivo de assegurar que todos os aspectos de concepção, representação e compatibilização estão de acordo com os padrões esperados, assegurando que as expectativas documentadas no BEP estão sendo atingidas.

Semanalmente são feitas análises virtuais dos projetos que tiveram tarefas executadas na semana vigente, onde os coordenadores fazem um passeio pelos modelos seguindo todos os caminhamentos das instalações e suas interações com a estrutura e arquitetura, certificando que as necessidades expostas pelo cliente estão sendo atendidas, verificando se existem elementos duplicados ou inseridos não intencionalmente no modelo e garantindo que os elementos inseridos correspondem ao nível de detalhamento definido anteriormente.

A comunicação técnica de problemas encontrados nas análises virtuais internas é estabelecida através de arquivos DWF e BCF, sendo a primeira extensão responsável por armazenar os comentários 2D nas pranchas a serem enviadas aos clientes e a segunda encarregada de documentar problemas detectados nos modelos 3D, sendo capaz de conduzir o projetista ao elemento comentado de forma automática.

Ao fim de cada fase de projeto, são gerados relatórios no software Navisworks para detecção de interferências com o intuito de conferir a existência de colisões entre elementos nos modelos. Nestes relatórios são especificadas as interferências brandas (*soft clashes* - componentes que não respeitam uma distância mínima exigida em relação a outro elemento ou sistema) e os *hard clashes*, correspondentes a componentes que se sobrepõem.

No término de cada etapa do projeto, os relatórios de *clashes* são entregues com as interferências resolvidas para comprovar a compatibilidade dos projetos. Desta forma o cliente consegue a garantia de que se o projeto for executado da forma como foi concebido, não existirão problemas de compatibilização durante a obra.

Após o término do projeto executivo, a empresa oferece o uso BIM denominado Planejamento 4D, que consiste no desenvolvimento de um cronograma de atividades da construção em forma de animação para fins de validação e otimização do sequenciamento executivo, sendo possível visualizar componentes cuja produção esteja adiantada, no prazo ou atrasada, assim possibilitando a comparação do cronograma planejado com o realizado através de atualizações das informações durante a execução do projeto.

A combinação do modelo 3D com o cronograma estabelecido para a construção favorece o acompanhamento dos prazos e maior compreensão do andamento da obra, sendo mais fácil prever atrasos inesperados ou problemas de planejamento. O serviço, quando contratado, fornece uma sugestão de sequenciamento de obra através de um arquivo aberto para edição, permitindo ao cliente editá-lo conforme o andamento da obra e, assim, garantir o controle das atividades que estão sendo, ou que ainda serão realizadas.

O sequenciamento fornecido é uma sugestão baseada em estudos realizados pela empresa e visando a produtividade e efetividade de tempo e custo, podendo ser modificado conforme o processo construtivo específico de cada cliente. A ferramenta é desenvolvida através do

software de cronograma MS Project, da Microsoft, em conjunto com a plataforma de visualização Navisworks, da Autodesk.

Todas as solicitações por ajuste ou esclarecimento são feitas através de chamado técnico (*change order*), sendo documentados dentro da estrutura organizacional da empresa com a função de assegurar atendimento preciso e adequado a cada questão, além da retroalimentação do banco de dados de lições aprendidas.

Todas as demandas de projeto são catalogadas através de um indicador chamado *Classificação de Demanda*, que trata-se de uma caracterização de todos os serviços executados em cada projeto, seja no desenvolvimento planejado do mesmo ou oriundo de chamados técnicos, tendo como principal objetivo o acompanhamento de desempenho e qualidade dos projetos.

3.1.3 ANÁLISE DO PROCESSO DE PROJETO

Através da análise do processo de projeto da empresa durante sua operação, foi possível observar pontos de falha, que necessitavam de tratamento para a melhoria da qualidade dos projetos e maior satisfação dos clientes. Dentre as maiores dificuldades encontradas, destacam-se a complexidade no fluxo de informações, a multidisciplinaridade de projetos e problemas de compatibilização e consistência técnica que, posteriormente, foram tratadas respectivamente com a implantação dos softwares BIMserver, Insight 360 e Dynamo.

Durante o desenvolvimento de alguns empreendimentos utilizando o processo de projeto da empresa foram constatados problemas de fluxo de informações. Pequenos ajustes em uma disciplina geravam necessidade de ajustes em outras, criando conseqüentemente uma demanda de armazenamento, organização e distribuição de informações durante as interações internas de produção. Essa necessidade acarretou a busca por ferramentas que permitissem a gestão de dados e comunicação através de uma plataforma de compartilhamento de modelos.

Adicionalmente, postergar a análise multidisciplinar dos projetos se mostrou um grande gerador de retrabalhos, devido à baixa interação entre arquitetura e instalações prediais na fase de concepção do edifício. Constatou-se que a falta de estudos conceituais mais profundos em etapas iniciais pode vir a ser um grande obstáculo no desenvolvimento das etapas mais

avançadas visto que, no processo tradicional de produção, os impactos de soluções arquitetônicas mal concebidas no tocante à eficiência energética só são sentidos em estágios evoluídos dos projetos de instalações prediais.

Outro problema encontrado foi a dificuldade de garantir compatibilização técnica entre disciplinas. Através do uso de softwares de integração, já incorporados no processo da empresa, encontrou-se uma lacuna no processo de compatibilização e na consistência dos projetos de sistemas prediais, visto que essas ferramentas apenas analisam interferências físicas, temporais e dinâmicas, não sendo verificada a compatibilização técnica entre as disciplinas, como por exemplo, se a potência elétrica de alimentação dos equipamentos apresentada no projeto de ar condicionado é a mesma apresentada no projeto elétrico.

3.2 ESCOLHA DAS FERRAMENTAS

Durante a implantação da metodologia BIM na empresa, a ferramenta escolhida como software de autoria da foi o Revit da Autodesk, devido a experiências anteriores que parte da equipe já havia tido com a plataforma, além da maior disponibilidade de conteúdos didáticos e cursos. A mudança de todos os projetos da empresa para plataforma BIM foi fundamentada na necessidade de melhoria da qualidade e maior satisfação dos clientes. Desta forma, toda a implantação foi focada na redução de erros e aumento na consistência dos projetos.

Após o início da operação com a metodologia BIM, foram constatados alguns problemas de processo que poderiam acarretar em erros, como descrito no item anterior. Assim, após o diagnóstico da causa destas falhas, tornou-se possível a busca por formas de preveni-las, sempre mantendo como foco soluções congruentes à plataforma previamente implantada. Desta maneira, a empresa iniciou pesquisas sobre ferramentas BIM disponíveis no mercado que auxiliassem na melhoria do processo de projeto, sendo o principal foco ferramentas de integração e compartilhamento de modelos, softwares de análise energética e aplicativos de programação visual.

Inicialmente, buscou-se o tratamento para os problemas no fluxo de informações, causado pela falta de gestão da comunicação interna, sendo pesquisadas as soluções disponíveis no mercado para servidores de modelos. Foram comparados dois produtos para implantação, o Revit Server,

da Autodesk e o BIMserver², que é uma plataforma *open source* de colaboração baseada no padrão IFC. Devido à filosofia de interoperabilidade, potencial de personalização e possibilidade de trabalhos com parceiros que não utilizam o Revit como software de autoria, foi escolhido o BIMserver como ferramenta a ser implantada.

Para solução das falhas de conceituação multidisciplinar, causadas pela falta de estudos globais no momento da concepção arquitetônica, foram estudados os aplicativos para análise de eficiência energética EnergyPlus³, que é um software de simulação termo-energética desenvolvido pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos, e a ferramenta Autodesk Insight 360⁴, já incorporada no software de autoria Revit. Para implantação foi escolhida a ferramenta Insight 360, devido a melhor aproveitamento de dados de modelos criados no Revit, tornando-se mais viável sua utilização para geração de relatórios visando o auxílio na concepção arquitetônica.

Visando maior compatibilidade técnica entre as disciplinas, foram pesquisadas soluções possíveis através de aplicativos de programação visual, sendo escolhido o Dynamo⁵ devido a sua integração com o a plataforma de autoria implantada na empresa.

3.2.1 IMPLANTAÇÃO DE FERRAMENTA PARA INTEGRAÇÃO E COMPARTILHAMENTO

Após a escolha da ferramenta, juntamente com a diretoria, a colaboradora responsável pela manutenção da infraestrutura de TI iniciou a verificação do servidor da empresa, visando analisar se o equipamento atendia aos pré-requisitos necessários para a instalação da plataforma. Posteriormente à sua aprovação, a instalação da plataforma foi feita de forma simples e rápida, permitindo acesso aos coordenadores que iniciaram o estudo de como manusear a ferramenta para apresentá-la para os engenheiros de projeto.

O BIMserver é uma ferramenta *open source* criada para possibilitar o armazenamento e gestão de dados de projetos que utilizam a tecnologia BIM, realizando a incumbência de servidor de modelos e permitindo que as informações sejam traduzidas e armazenadas como objetos em

² <http://bimserver.org/>

³ <https://energyplus.net/>

⁴ <https://insight360.autodesk.com>

⁵ <https://dynamobim.org/>

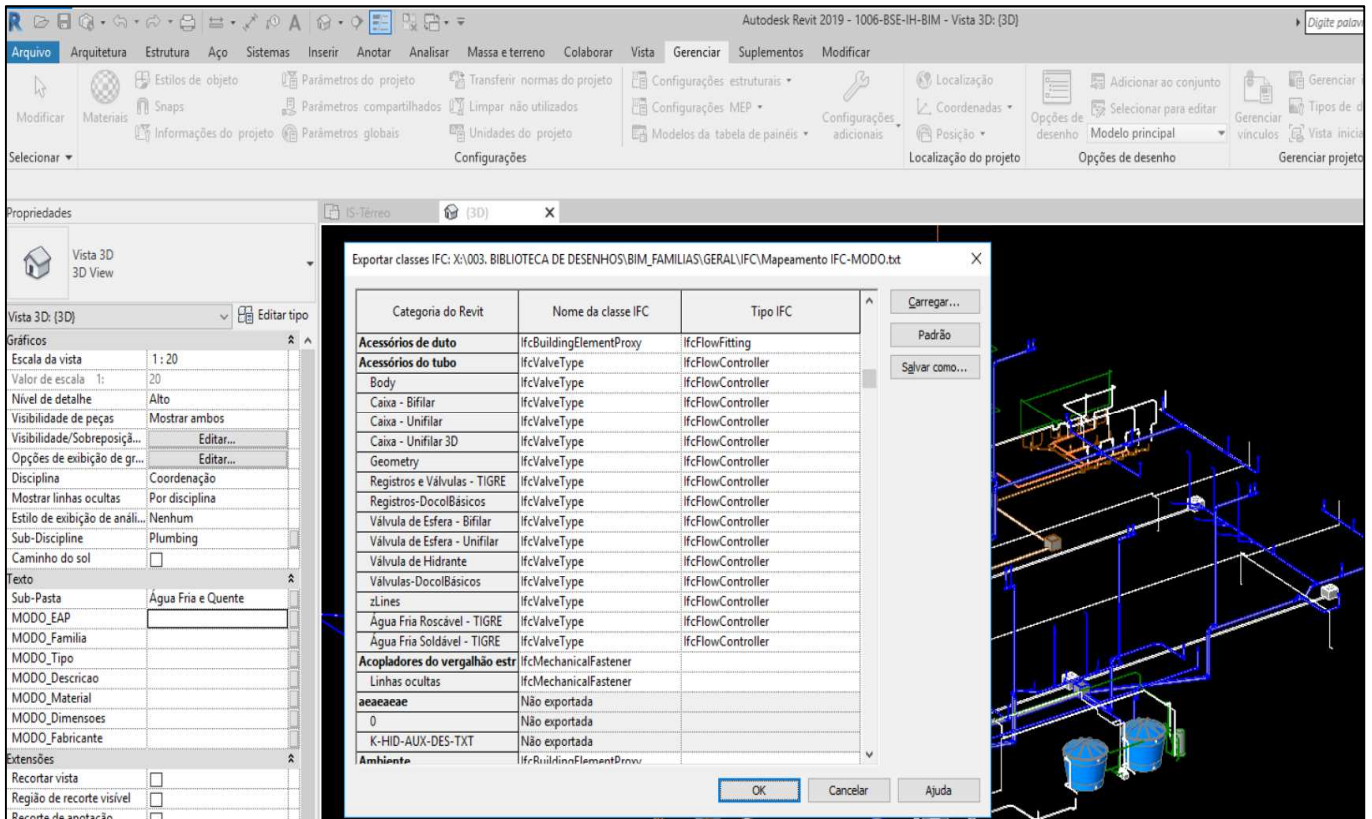
um banco de dados centralizado. O principal benefício deste artifício é possibilitar que as informações BIM sejam examinadas, combinadas e filtradas com maior facilidade, utilizando um ambiente não proprietário, em uma interface na internet e trabalhando com padrão IFC.

O software possibilita que diversos projetistas trabalhem simultaneamente em diferentes partes do mesmo projeto, localmente ou remotamente. A ferramenta interpreta as informações presentes nos arquivos IFC gerando um banco de dados sobre o projeto. Além disso, é possível verificar, fundir, autenticar e comparar modelos. A plataforma que suporta diversos usuários funciona em tempo real, permitindo que as alterações feitas em uma parte do projeto sejam comunicadas aos demais projetistas automaticamente. O software usa *plugins* de código aberto, facilitando ajustes e personalizações caso seja necessário.

A essência da ferramenta é fundamentada no padrão IFC. Devido a isso, consegue trabalhar muito bem com dados IFC (versões IFC 2x3 e IFC4), servindo como uma base sólida para a elaboração de ferramentas para softwares BIM e incentivando desenvolvedores a utilizá-lo como base para seus aplicativos. A plataforma permite diversas alternativas de conexão (interfaces, APIs), possibilitando a programação de aplicativos próprios (de código fechado) que utilizam o BIMserver como base.

Por trabalhar apenas com formato o IFC, previamente à implantação da plataforma, foi necessária a verificação do mapeamento dos IFCs gerados a partir dos projetos da empresa, sendo constatada a necessidade de ajustes nos Nomes de classe e Tipos IFCs para que a exportação fosse feita corretamente, como apresentado na Figura 5, impedindo que famílias já classificadas dentro do software de autoria perdessem dados durante a extração, tornando-se modelos genéricos no arquivo IFC.

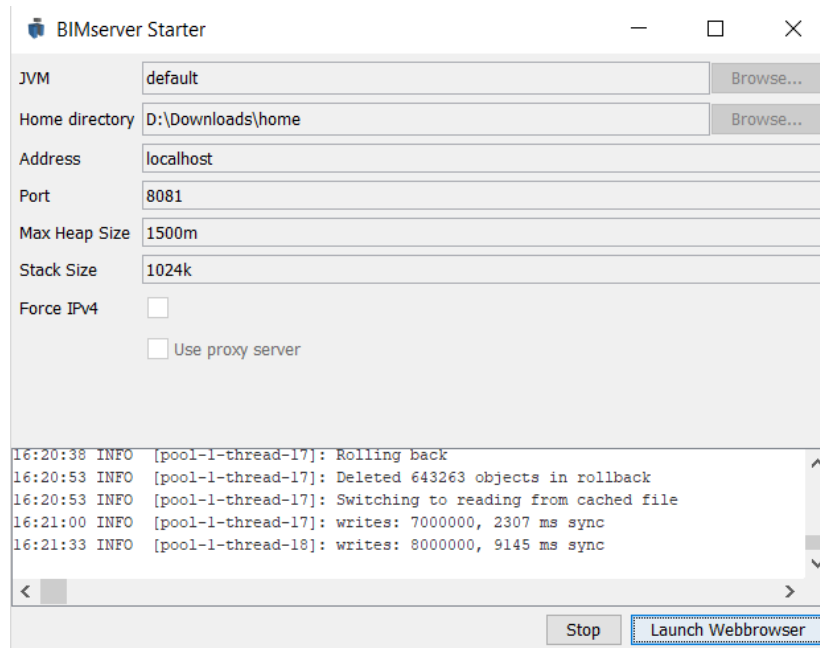
Figura 5 – Mapeamento e configuração de IFC



Fonte: Autor.

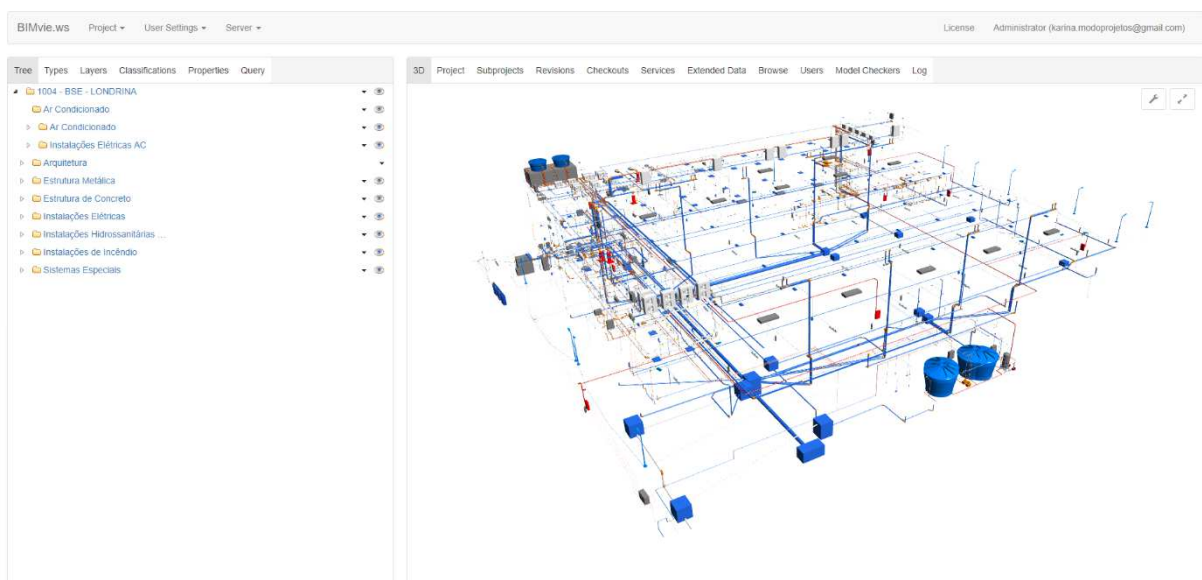
Após o mapeamento e configuração dos IFCs de cada disciplina e subdisciplina, foi possível a inicialização da plataforma através de um arquivo executável, instalado no computador de cada usuário, que permite a conexão com o servidor do escritório através de uma página da internet, como mostram as Figuras 6 e 7, permitindo ao coordenador a criação e configuração de diretórios para cada projeto e, posteriormente, possibilitando a colaboração de todos os projetistas através do *upload* de seus arquivos IFC na plataforma, mediante autorização do administrador do sistema.

Figura 6 - Inicialização do BIMserver



Fonte: Autor.

Figura 7 – Perspectiva multidisciplinar do projeto no BIMserver



Fonte: Autor.

Após um rápido treinamento, todos os projetistas iniciaram a colaboração através da plataforma, o que serviu como grande auxílio no gerenciamento do fluxo de informações, visto que o software permite o compartilhamento de relatórios em formato BCF, como mostra a Figura 8, gestão de usuários e controle de transações, como mostra a Figura 9.

Figura 8 – Compartilhamento de relatórios em formato BCF

Fonte: Autor.

Figura 9 – Controle de transações

Id	Date	User	Comment	Size	Actions
3	2 days ago	System	generated for subproject Ar Condicionado, revision 2, by Heloisa	362799	Download
2	3 days ago	System	generated for subproject Instalações Elétricas AC, revision 1, by Administrator	362799	Run "Compare Service"
1	3 days ago	System	generated for subproject Ar Condicionado, revision 1, by Administrator	295021	Download

Fonte: Autor.

Após a implantação, houve uma melhora substancial na gestão do fluxo de informações na empresa, sendo possível o melhor rastreamento de informações e alterações, facilitando a administração operacional do processo de projetos por parte dos coordenadores e aumentando o grau de colaboração multidisciplinar entre os projetistas.

3.2.2 IMPLANTAÇÃO DE FERRAMENTA PARA ANÁLISE ENERGÉTICA

Posteriormente à seleção da ferramenta Insight 360, foram determinadas as equipes que iriam ser treinadas para a elaboração das análises e criação dos relatórios preliminares. Foi definida a divisão de responsabilidades entre as equipes de ar condicionado e elétrica. A primeira foi encarregada da análise térmica e a segunda incumbida pela análise de iluminação. No início da implantação, também foi definido o momento em que o relatório seria elaborado, dentro do processo de projetos da empresa. Foi decidido que os dados seriam levantados sempre após o recebimento do projeto arquitetônico preliminar, facilitando a realização dos ajustes sugeridos para a melhoria da eficiência energética do edifício.

O Autodesk Insight 360 é uma ferramenta de análise energética que possibilita o estudo de desempenho através de dispositivos de simulação e *benchmarks* do setor. Por meio da integração com o Revit, os projetistas podem elaborar projetos com o entendimento de soluções que levam a melhores resultados de desempenho. Através do *upload* do modelo na plataforma em nuvem e especificação de fatores conceituais do projeto, a ferramenta permite a medição do desempenho em relação aos *benchmarks* da Architecture 2030⁶ e ASHRAE 90.1⁷, tornando ajustes de concepção viáveis em momentos iniciais do projeto.

Mediante a comparação de diversos cenários de projeto, a plataforma possibilita a visualização do impacto de diferentes orientações, envoltórias, equipamentos de iluminação e sistemas de ar condicionado no consumo energético da edificação. O fornecimento de cargas térmicas é feito pelo EnergyPlus Cloud, que proporciona a elaboração de relatórios dentro do Revit ou visualização dos resultados em uma interface na internet, destacando instantaneamente espaços suscetíveis a cargas mais altas.

A ferramenta permite também a visualização da radiação solar nas superfícies do modelo diretamente no software de autoria. Além possibilitar o estudo de iluminação sob a ótica do LEED, os projetistas podem selecionar data e hora, especificando um plano de análise e criando a partir disso renderizações de iluminação natural e elétrica com maior facilidade. O estudo solar ainda contempla funções para avaliação de produção de energia fotovoltaica e seu valor

⁶ <https://architecture2030.org/>

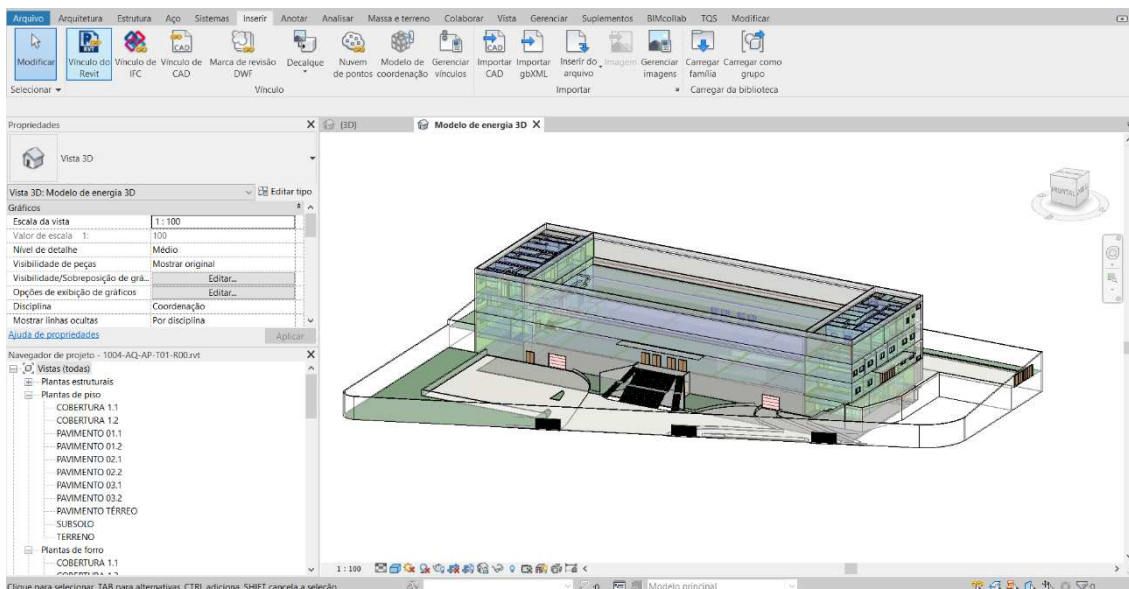
⁷ <https://www.ashrae.org/technical-resources/90-1-portal>

agregado, permitindo ajustes como tipo de painel, porcentagem de cobertura e tempo de retorno, facilitando a verificação da viabilidade financeira de implantação do sistema.

Fazendo uso de fatores de simulação produzidos pelo Green Building Studio, a ferramenta transforma automaticamente a geometria arquitetônica do software de autoria em um modelo analítico de energia, não sendo exigido nenhum *input* de dados adicional. Contudo, os projetistas podem especificar informações de entrada complementares, características de envoltória, parâmetros dos vidros, sistemas de ar condicionado, zonas térmicas, assim como necessidades especiais dos espaços.

Para início das análises por parte das equipes de ar condicionado e elétrica, foram necessários ajustes das configurações de energia, onde são especificadas informações dos elementos de construção utilizados, tipo de sistema de ar condicionado a ser instalado, função e regime de operação da edificação. A partir desta caracterização do empreendimento, torna-se possível a geração automática de um modelo analítico de energia dentro do software de autoria, como mostra a Figura 10.

Figura 10 – Geração de modelo analítico de energia no Revit



Fonte: Autor.

Para a otimização do modelo analítico de energia criado, se faz necessário o *upload* do arquivo na ferramenta Autodesk Insight 360, que interpreta os dados do modelo gerado pelo Revit e

gera um modelo em nuvem, que permite ao projetista manipulação e verificação dos elementos criados automaticamente, para garantia da consistência da análise, como mostra a Figura 11.

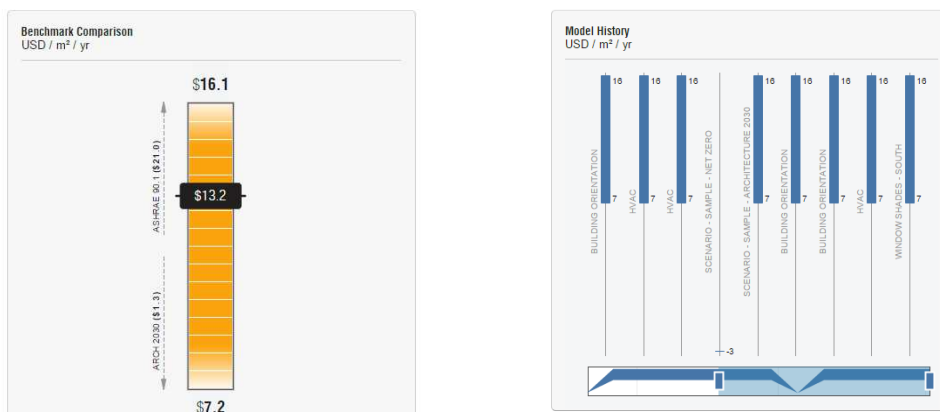
Figura 11 – Geração de modelo analítico de energia no Insight 360



Fonte: Autor.

Juntamente com a geração do modelo, são criadas informações sobre informações de consumo máximo, médio e mínimo em dólares por metro quadrado por ano, sendo possível a especificação do custo de energia para o local de implantação de projeto, assim como os *benchmarks* da Architecture 2030 e ASHRAE 90.1. Também são criadas telas de comparação de modelo que apresentam aos resultados obtidos de acordo com os cenários de projeto criados, como mostra a Figura 12.

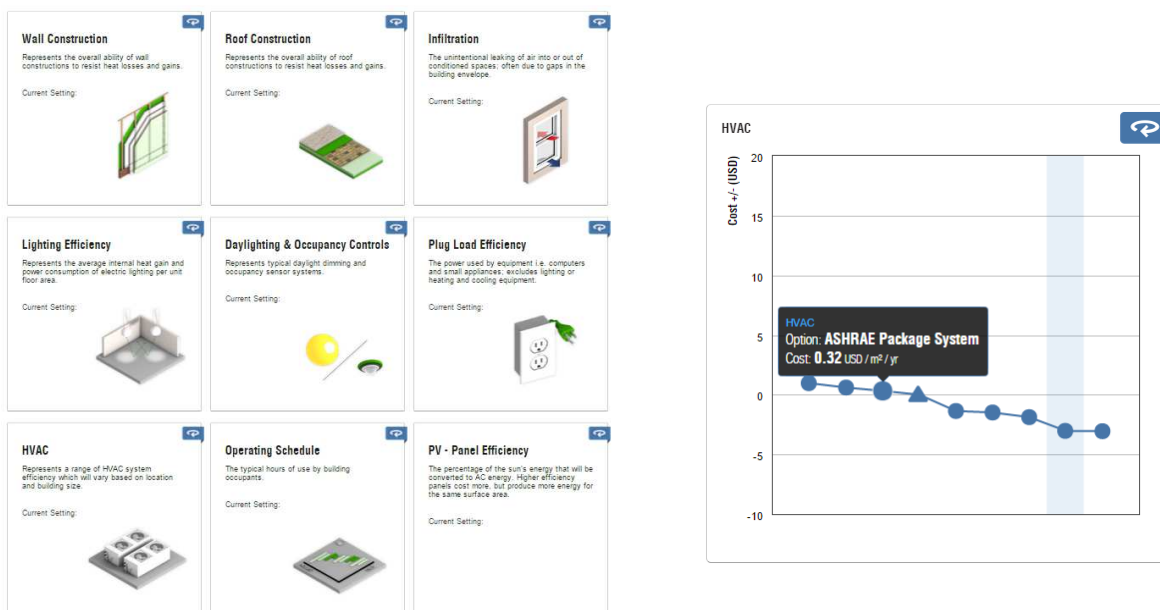
Figura 12 - Valores de consumo x Comparação de cenários de projeto



Fonte: Autor.

Para a criação de diversas alternativas de projeto, a ferramenta permite diversos ajustes em sistemas que influenciam diretamente no desempenho energético da edificação, permitindo criar cenários de projeto sem a necessidade de remodelagem do empreendimento. Para cada opção, o software mostra, em tempo real, qual o aumento ou redução de consumo que aquela definição acarretará para o edifício, como mostra a Figura 13, permitindo que os projetistas elaborem a conceituação do projeto de forma mais consolidada em relação à eficiência energética.

Figura 13 – Alguns ajustes disponíveis para a criação dos cenários



Fonte: Autor.

3.2.3 IMPLANTAÇÃO DA FERRAMENTA DE PROGRAMAÇÃO VISUAL

Assim como as demais ferramentas apresentadas, o início da utilização do Dynamo para o aumento de consistência paramétrica entre os projetos, como resolução de problemas de compatibilização entre dados de diferentes disciplinas, foi uma decisão tomada conjuntamente entre a coordenação e a diretoria. Devido ao pouco conhecimento de todos na empresa de como utilizar o software para a criação de algoritmos, foi contratado um profissional para elaboração de um treinamento realizado dentro da empresa e focado para as necessidades levantadas para melhoria do processo.

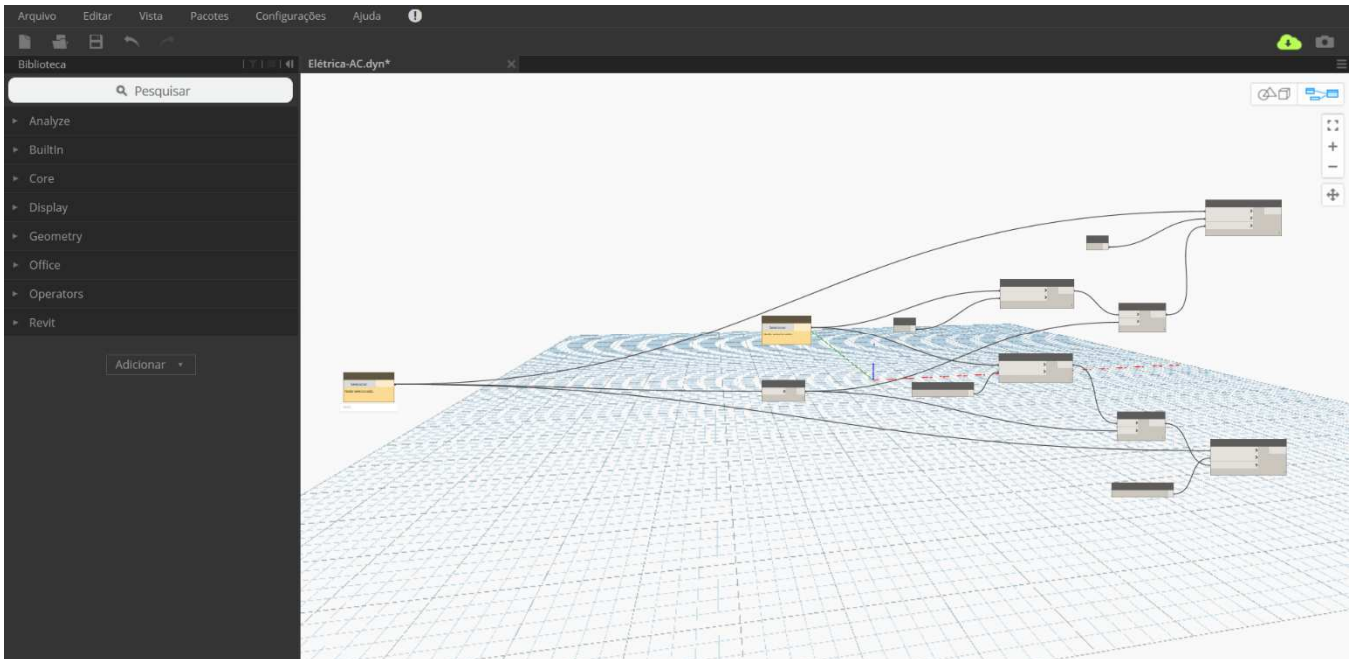
O Dynamo é uma ferramenta de código aberto concebida para expandir as funções do Revit, sendo que em suas últimas versões o software de autoria já vem com a instalação do aplicativo automática. Essencialmente, o software é uma ferramenta de criação de algoritmos que usa como base a programação visual, permitindo ao usuário produzir suas próprias rotinas, mesmo sem deter domínio em nenhuma linguagem de programação. O programa pode ser utilizado para diversas finalidades, seja automação de atividades repetitivas, interações com os modelos do Revit, ou elaboração de modelos a partir de premissas complexas ou informações externas.

Por não existir a necessidade da compilação e da execução dos algoritmos, e os mesmos serem elaborados e verificados através de ações instantâneas no software de autoria, a utilização do Dynamo é mais indicada, ao invés da programação convencional que trabalha na API das aplicações. Elaborar uma rotina na ferramenta é fundamentalmente a montagem de uma sequência de tarefas a serem realizadas, onde cada tarefa individual, chamada de “nó”, pode ser entendida como um comando do próprio Revit, bem como pode ser um cálculo matemático ou qualquer outra função pré-programada. Ao interligar os nós necessários, o usuário elabora uma sequência lógica que pode ser executada de forma automática enquanto o projetista trabalha no Revit ou por meio de um clique, permitindo alteração de valores de parâmetros em um elemento, leitura e escrita em planilhas de Excel ou criação e exclusão de objetos no modelo.

Para início da programação em Dynamo, foram analisados, junto aos projetistas, os principais problemas ocorridos durante a modelagem dos projetos, sendo constatada como questão recorrente a inconsistência paramétrica entre diferentes modelos, causando falhas técnicas de compatibilização. Com isso, para dar início à disseminação do conhecimento sobre a ferramenta, foi escolhido o desenvolvimento de um script para compatibilização entre parâmetros de potência elétrica descritos nos modelos da disciplina de ar condicionado e os considerados no modelo de instalações elétricas.

Para criação dos scripts, incentivou-se que os próprios projetistas tivessem contato com a ferramenta, visto que estes têm maior proximidade com problemas operacionais de modelagem que poderiam ser facilmente superados com a criação de algoritmos. Para desenvolvimento inicial do script foi consultada a biblioteca de nós presente no software, sob a ótica de qual seria a abordagem de programação e funcionamento da rotina a partir dos comandos disponíveis no programa, tornando mais fácil a abordagem do problema e a visualização da conexão entre nós para sua solução, como mostra a Figura 14.

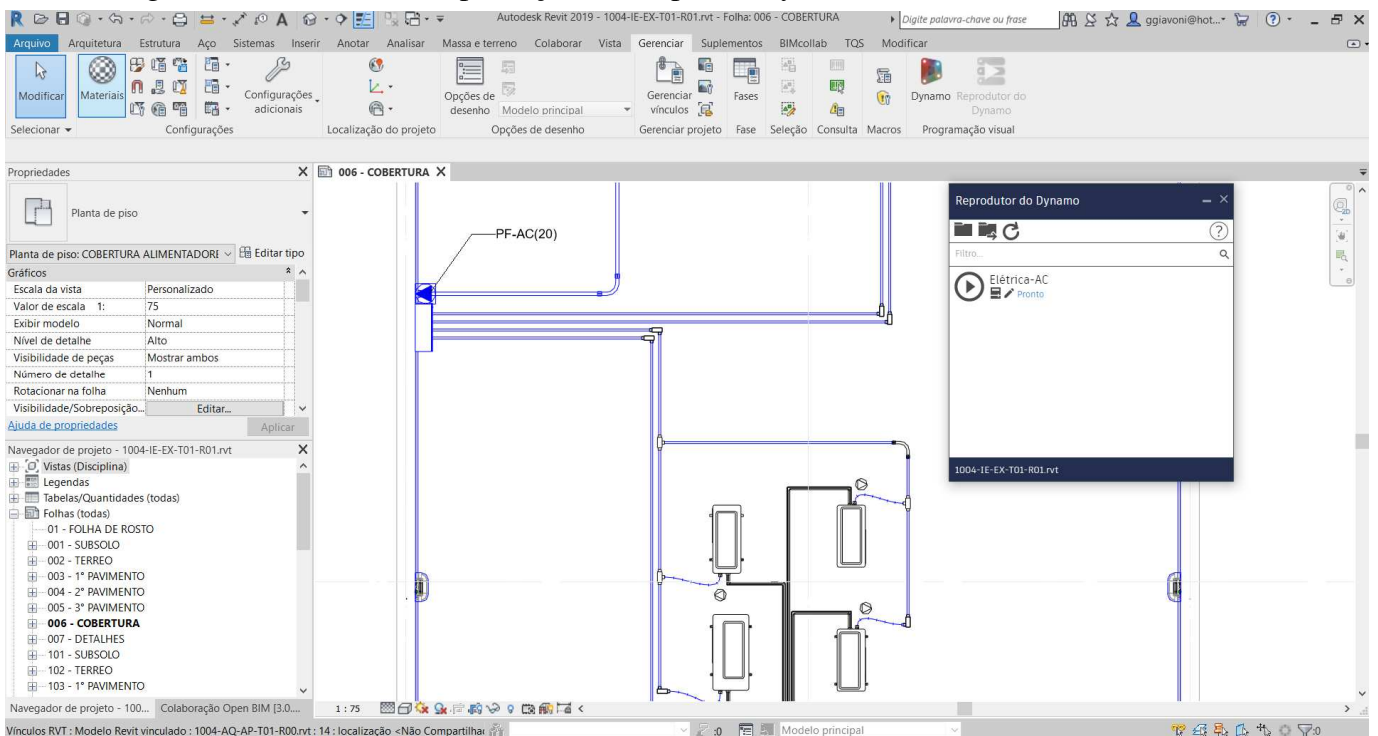
Figura 14 – Script para compatibilização de parâmetros entre modelos



Fonte: Autor.

Através da inicialização do Reprodutor do Dynamo, dentro do software de autoria, os projetistas podem selecionar qual script desejam utilizar, como mostra a Figura 15.

Figura 15 – Interface de reprodução de scripts do Dynamo dentro do Revit



Fonte: Autor.

Após a seleção do script de compatibilização paramétrica entre os modelos de ar condicionado e elétrica, o usuário inicia o algoritmo, que funciona a partir do selecionamento dos equipamentos de ar condicionado, vinculados ao modelo de elétrica, a serem alimentados pelo quadro elétrico presente no modelo da disciplina de instalações elétricas.

Após a seleção dos equipamentos, o projetista de instalações elétricas deve selecionar o quadro que irá alimentar os equipamentos de ar condicionado. Dessa forma, o algoritmo faz com que a somatória das potências dos equipamentos de ar condicionado seja preenchida em um parâmetro de potência dentro da família do quadro elétrico, garantindo a compatibilização paramétrica entre modelos de diferentes disciplinas.

3.3 PROJETO PILOTO

Após a apresentação e treinamento das equipes com os softwares definidos para melhoria do fluxo de informações, maior colaboração multidisciplinar na conceituação dos projetos e compatibilização de parâmetros entre disciplinas, foi definido um projeto para que as ferramentas fossem aplicadas desde a concepção do empreendimento. O projeto piloto foi selecionado por estar sendo iniciado na mesma época que os treinamentos e implantações estavam ocorrendo, tendo sido feitos poucos estudos de engenharia sobre o anteprojeto arquitetônico e permitindo melhores comparações entre os indicadores de projeto previamente ao uso das ferramentas e posteriormente às implantações.

O projeto, com aproximadamente 7.300 metros quadrados de área construída, é um edifício de uso misto, tipologia a qual a empresa possui vasta experiência por já ter fornecido mais de 10 projetos para este cliente. O empreendimento localiza-se na cidade de Londrina – PR, em uma das principais avenidas da cidade e possui 3 blocos, todos construídos em estrutura de concreto moldado in loco e lajes treliçadas, sendo os da extremidade (Blocos A e B) constituídos por 5 pavimentos com cobertura de laje com telhado e o Bloco Central composto por 3 pavimentos com cobertura executada em estrutura metálica. Os pavimentos e blocos são divididos da seguinte forma:

- Subsolo com estacionamento para 94 vagas (Blocos A, Central e B);

- Térreo com auditório para 240 lugares (Bloco A), estacionamento para 57 vagas (Bloco Central), vestiários e salas administrativas (Bloco B);
- 1º Pavimento com salas administrativas (Bloco A), auditório para 1.800 pessoas (Bloco Central) e salas de aula (Bloco B);
- 2º Pavimento com salas administrativas (Bloco A) e salas de aula (Bloco B);
- 3º Pavimento com 2 apartamentos (Bloco A) e estúdio de rádio e TV (Bloco B)

O escopo de atuação da empresa abrangia os projetos das disciplinas de estruturas de concreto, estruturas metálicas, ar condicionado, instalações elétricas, automação predial e dados, prevenção e combate a incêndio, instalações hidrossanitárias e gás, com etapas divididas em anteprojeto, projeto básico e projeto executivo.

Para o desenvolvimento do projeto utilizando a plataforma BIM, inicialmente foi necessário criar o modelo arquitetônico a partir do anteprojeto 2D apresentado na Figura 16, que foi fornecido pelo escritório de arquitetura contratado pelo cliente, visto que o mesmo não utiliza a metodologia. A partir da elaboração do modelo que serviria como base para que os demais projetos fossem desenvolvidos, iniciou-se a análise e concepção de todos os projetos de engenharia.

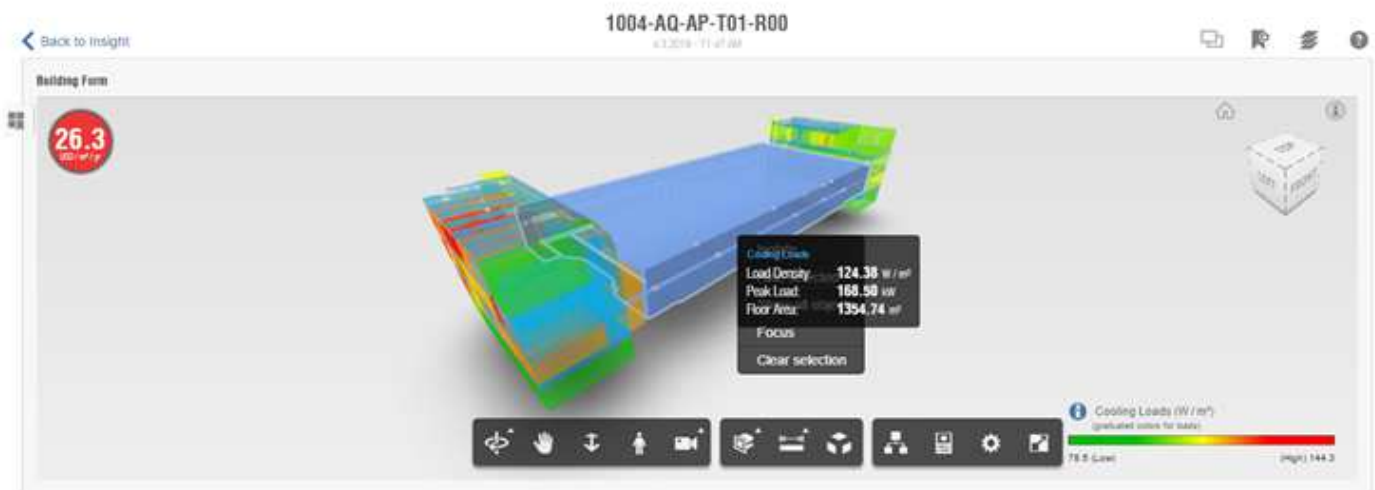
Figura 16 – Fase de anteprojeto recebido do escritório de arquitetura



Fonte: Autor.

Durante a conceituação dos projetos de iluminação e ar condicionado, os modelos foram analisados utilizando-se a ferramenta de análise energética Autodesk Insight, como mostra a Figura 17. O software apresentou inicialmente em seus resultados que a fachada proposta pelos projetistas de arquitetura, que era paralela à avenida onde está localizada a entrada principal do empreendimento, fazia com que a parede do auditório para 1.800 pessoas ficasse voltada para a direção Noroeste, recebendo uma maior incidência de sol ao longo do ano e aumentando o custo operacional da edificação.

Figura 17 – Análise energética do projeto no Autodesk Insight



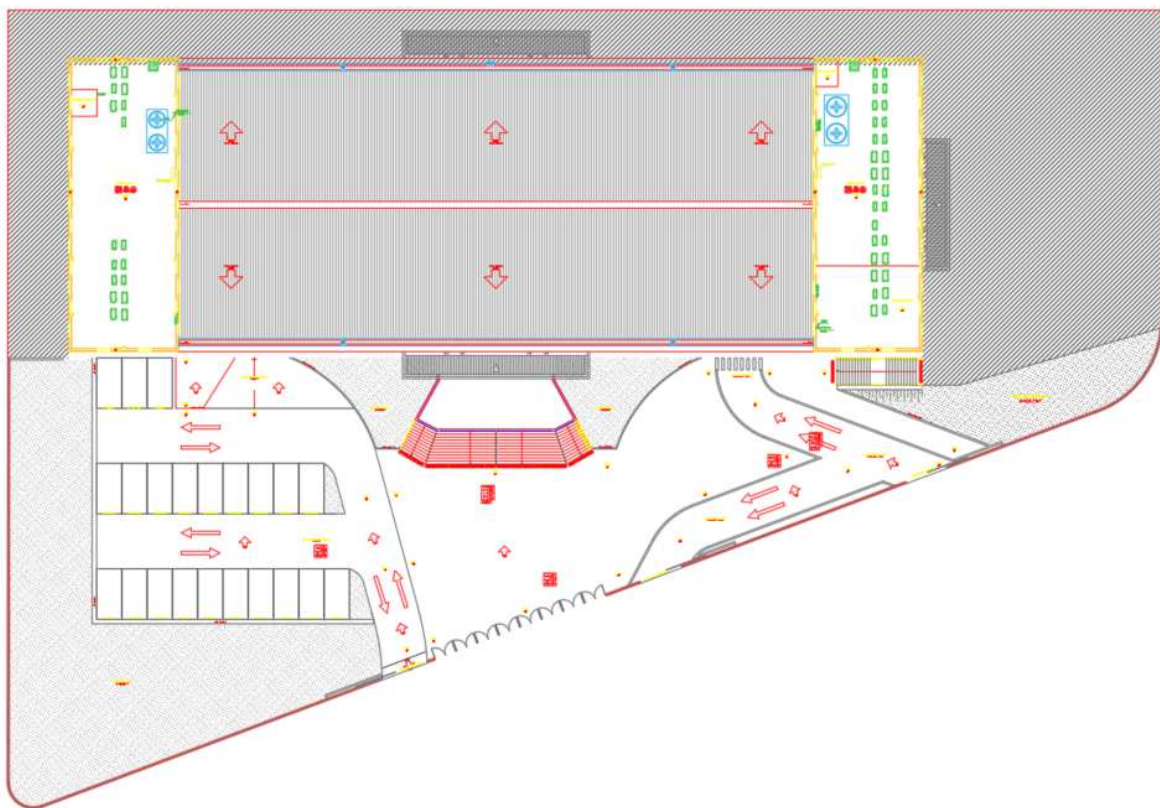
Fonte: Autor.

Juntamente com a análise de implantação do edifício, foram feitas diversas verificações em relação aos elementos construtivos e sistemas de iluminação e ar condicionado que estavam sendo solicitados para o edifício. Com isso, foram sugeridas modificações no projeto arquitetônico a fim de melhorar sua eficiência energética, sendo algumas acatadas pelos projetistas, como o ajuste na orientação do prédio apresentada na Figura 18, e outras negadas devido ao grande impacto no conceito visual do empreendimento.

A tomada antecipada de decisões, que normalmente ocorreriam em etapas mais avançadas de projeto, gerou bons resultados para a consolidação da arquitetura, reduzindo drasticamente o número de ciclos em cada fase do processo, sendo isso possível através da análise multidisciplinar em momentos iniciais do projeto. Além da melhoria na eficiência, o uso de ferramentas que permitem análises baseadas na plataforma BIM, proporcionou visibilidade de

fatores que, após ajustados, permitiram grande redução do custo de energia do edifício e consequente aumento da qualidade do empreendimento, passando de um gasto médio energético de 26,3 USD/m²/ano para 13,2 USD/m²/ano. Desta forma, a ferramenta foi utilizada dentro do processo de projeto visando à prevenção de retrabalhos, tornando a arquitetura mais consolidada em termos de concepção frente às demais disciplinas, previamente ao início do detalhamento dos projetos de engenharia.

Figura 18– Fase de projeto básico do projeto piloto

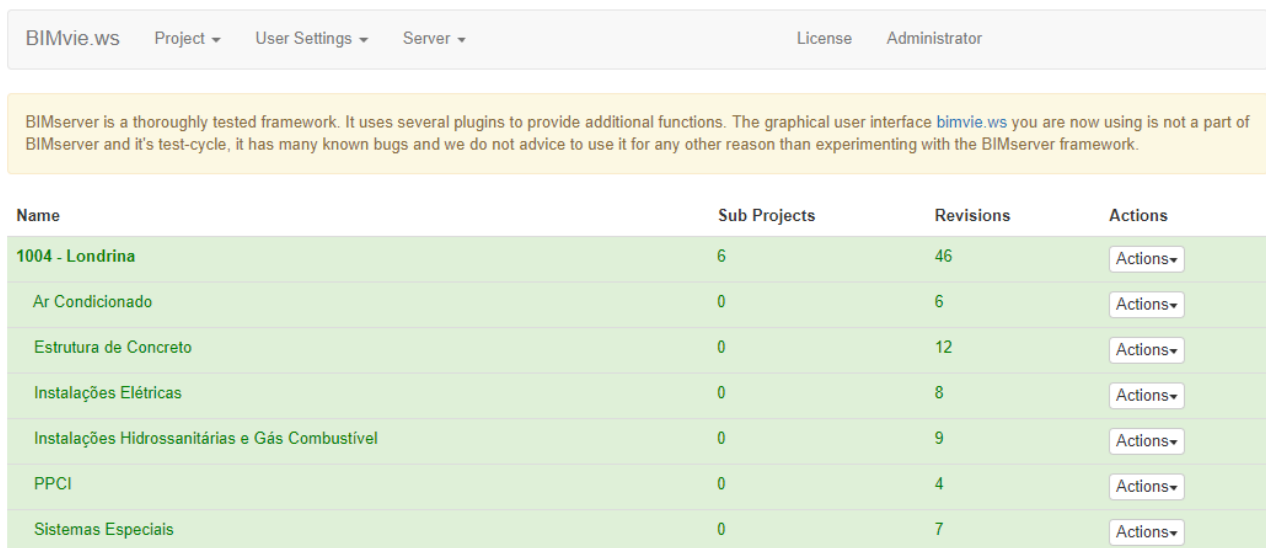


Fonte: Autor.

Após a consolidação multidisciplinar do anteprojeto arquitetônico, iniciaram-se os projetos de engenharia. Logo de início, o coordenador criou um diretório para o projeto dentro da plataforma de compartilhamento de modelos BIMserver, como mostra a Figura 19, e alinhou com os projetistas que, após o término de cada tarefa, os mesmos deveriam extrair um arquivo IFC e fazer o *upload* no servidor.

Inicialmente houve um desafio para a configuração e mapeamento dos parâmetros para extração dos modelos em formato IFC, visto que, para que as famílias do Revit tivessem suas informações transmitidas e classificadas corretamente quando fossem convertidas para o padrão aberto, era necessário o mapeamento de todos os tipos de parâmetros dos modelos e configuração de sua exportação. Desta forma, como poderiam ser inseridas novas famílias em todas as tarefas do projeto, consolidou-se no processo de produção que a verificação do mapeamento deveria ser sempre feita previamente à geração dos IFCs e *upload* na plataforma de compartilhamento.

Figura 19 – Projeto criado na plataforma de compartilhamento de modelos BIMserver



The screenshot shows the BIMvie.ws web interface. At the top, there is a navigation bar with links for 'Project', 'User Settings', 'Server', 'License', and 'Administrator'. Below the navigation bar, there is a yellow warning box stating: 'BIMserver is a thoroughly tested framework. It uses several plugins to provide additional functions. The graphical user interface bimvie.ws you are now using is not a part of BIMserver and it's test-cycle, it has many known bugs and we do not advice to use it for any other reason than experimenting with the BIMserver framework.'

Below the warning box, there is a table with the following columns: Name, Sub Projects, Revisions, and Actions. The table lists several project components with their respective counts.

Name	Sub Projects	Revisions	Actions
1004 - Londrina	6	46	Actions
Ar Condicionado	0	6	Actions
Estrutura de Concreto	0	12	Actions
Instalações Elétricas	0	8	Actions
Instalações Hidrossanitárias e Gás Combustível	0	9	Actions
PPCI	0	4	Actions
Sistemas Especiais	0	7	Actions

Fonte: Autor.

O uso da plataforma de compartilhamento de modelos ocasionou uma melhoria substancial no fluxo de informações durante o processo de elaboração do projeto. Através da centralização dos dados de projeto no servidor, tornou-se muito mais fácil e rápido para os coordenadores a análise do andamento dos trabalhos, tanto em relação ao projeto-produto, através da verificação dos modelos por meio das funções de visualização tridimensional e comparação entre versões do mesmo modelo, posteriormente à execução das tarefas, quanto em relação ao projeto-processo, por meio da interligação entre revisões de projeto e relatórios de análise em BCF, controle de *uploads* e gestão de usuários.

De uma forma geral, o uso do servidor de modelos funcionou como uma ferramenta de auxílio à organização do projeto-processo, trazendo ao alcance dos gestores dados que, antes de sua implantação, não lhes eram acessíveis. Com o uso do software, o histórico do projeto se tornou muito mais estruturado, permitindo fácil acesso a documentos e relatórios, assim como a todas as revisões que estes deram origem, em apenas um lugar.

Com o desenvolvimento do projeto e início da etapa de compatibilizações, foram levantados alguns pontos que ainda requeriam muita atenção dos projetistas e coordenadores, pois mesmo com o uso da metodologia BIM algumas tarefas importantes ainda estavam suscetíveis a falhas humanas. Dentre os pontos levantados, o que obtinha mais falhas recorrentes era a dificuldade de garantia de correspondência entre parâmetros de diferentes disciplinas interdependentes, o que gera incompatibilidade de valores e pode acarretar em erros de dimensionamento.

Sendo assim, com a intenção de melhorar a qualidade e consistência do projeto, a utilização do Dynamo foi incentivada para resolução dos problemas levantados, visto que os softwares de integração e autoria que a empresa possui não são capazes de verificar a compatibilização paramétrica de elementos que interagem multidisciplinarmente. Como desafio inicial, foi proposto aos projetistas, após treinamento com consultoria externa, o desenvolvimento de um script que fosse capaz de verificar a compatibilidade entre as potências elétricas de equipamentos declaradas no projeto de ar condicionado e as declaradas no projeto elétrico.

Após o desenvolvimento do primeiro script para compatibilização de parâmetros, os projetistas iniciaram seu uso em projeto, aplicando o algoritmo para transmitir os valores dos parâmetros de potência das famílias de ar condicionado, vinculadas ao projeto de elétrica, para dentro das famílias de quadros elétricos. A automatização desta tarefa facilitou a compatibilização técnica entre os projetos, permitindo que as alterações feitas nos tipos e capacidades dos equipamentos fossem incorporadas instantaneamente e de forma precisa pela disciplina de instalações elétricas, evitando super ou subdimensionamento dos sistemas elétricos.

As grandes vantagens que a utilização do Dynamo trouxe foram a garantia de consistência entre os dados de todos os projetos e início do uso da automatização de atividades dentro do processo de elaboração dos projetos, que permite eficiência e qualidade na execução de tarefas de baixo valor agregado, que tomam muito tempo dos projetistas, possibilitando melhores estudos técnicos e econômicos durante o desenvolvimento de cada disciplina.

3.4 RESULTADOS

Conforme apresentado no item 3.1.2, a empresa possui um cronograma de produção focado na organização das tarefas, controlado pela equipe de coordenação e operado pela equipe de planejamento. No momento da alocação da tarefa no cronograma, os coordenadores indicam através de um índice chamado *Controle de Demanda* qual o motivo que originou a tarefa permitindo, através de relatórios, aferir o número de dias gastos no desenvolvimento de cada disciplina e em falhas de diferentes origens, que são classificadas da seguinte maneira:

- CC - Falhas ocasionadas por erros de Coordenação e Compatibilização
- DP - Desenvolvimento de Projeto
- EC - Erro do Cliente
- EG - Erro da Gerenciadora
- EI - Erro Interno
- EP - Erro de Parceiros (Escritório de Arquitetura, por exemplo)

Através de valores de porcentagem fixos, os coordenadores podem localizar até 3 tipos de erro por tarefa, dividindo-os em porcentagens de 50%, 30% ou 20% que se somam, caso sejam da mesma origem, traçando a característica de origem das demandas. No preenchimento exemplificado na Tabela 5, a tarefa possui uma característica de 80% de tempo gasto para sua execução em desenvolvimento de projeto e 20% do tempo gasto em correções de erros internos, ocasionados por falhas dos colaboradores no momento de elaboração do projeto.

A utilização dos índices em faixas fixas para preenchimento foi feita para que se tornasse mais fácil e rápido o preenchimento, visto que cada coordenador poderia ter uma interpretação ligeiramente diferente de uma mesma demanda caso o valor fosse livre para preenchimento, levando a inconsistência na coleta dos dados. As informações são utilizadas para auxílio na identificação das fontes de demanda, facilitando assim a separação de horas trabalhadas devido a erros internos, de coordenação e no desenvolvimento de projetos de horas gastas devido a erros de parceiros, erros de gerenciadora e erros do cliente, auxiliando na análise do desempenho da empresa e, em alguns casos, servindo como base para o pleito de aditivos contratuais.

Tabela 5 – Exemplo de Classificação de Demanda

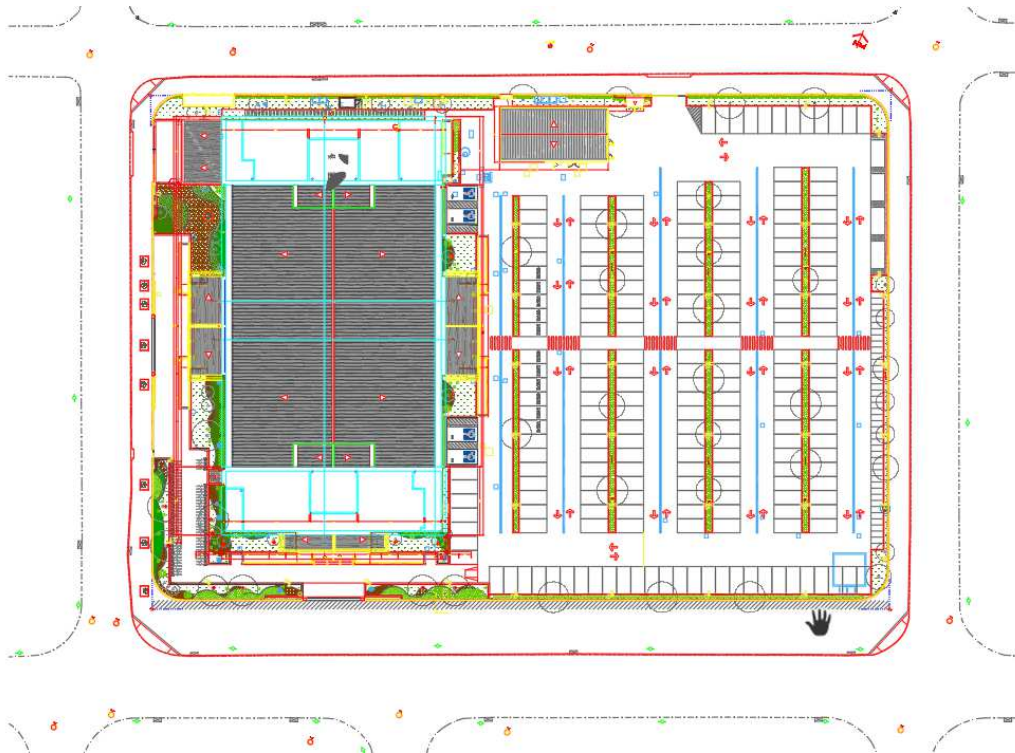
CD 1 - 50%	CD 2 - 30%	CD 3 - 20%
DP	DP	EI

Fonte: Autor.

A empresa implantou o sistema de controle de tarefas previamente à implantação do BIM, permitindo assim o armazenamento de dados de projetos que foram elaborados em plataforma CAD, bem como outro usando BIM e ainda outro utilizando BIM conjuntamente com as ferramentas de auxílio à melhoria de qualidade propostas neste trabalho. Assim, para a análise comparativa dos resultados obtidos, tanto com a implantação do BIM, quanto com a implantação das ferramentas BIM de melhoria de qualidade, foram escolhidos três projetos de edifícios de uso misto elaborados para o mesmo cliente, cada um desenvolvido com uma das plataformas citadas.

O primeiro projeto, elaborado totalmente em plataforma CAD, apresentado na Figura 20, trata-se de um empreendimento de 4.500 m² de área construída, localizado na cidade de Praia Grande, litoral sul do estado de São Paulo. O empreendimento é dividido em Bloco A, Bloco Central e Bloco B, sendo os Blocos A e B compostos por três pavimentos que abrigam salas de aula, salas administrativas e apartamentos, já o Bloco Central é térreo e constituído por apenas um auditório com capacidade para 2.100 pessoas.

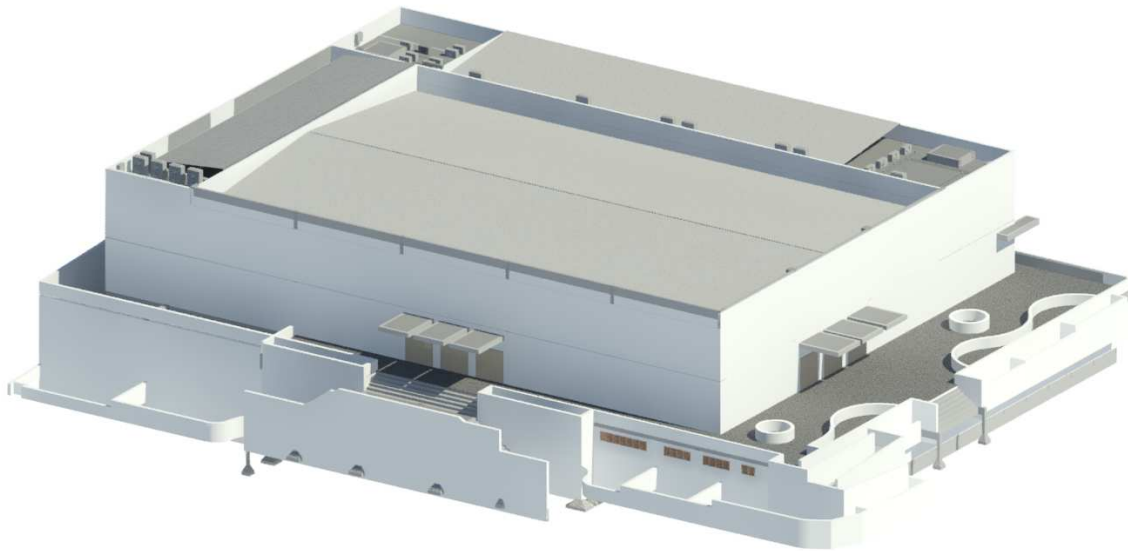
Figura 20 – Implantação do projeto de Praia Grande



Fonte: Autor.

O segundo projeto a ser analisado, já elaborado em plataforma BIM, como mostra a Figura 21, porém sem o uso das ferramentas de melhoria de qualidade, trata-se de uma edificação de 4.400 m² de área construída, localizada na cidade de Campina Grande, estado da Paraíba. O imóvel também é dividido em três blocos, assim como o de Praia Grande, com os Blocos A e B divididos em três pavimentos que abrigam estacionamento, salas de aula, administrativas e apartamentos. O Bloco Central, neste projeto, possui subsolo para estacionamento e térreo com auditório que comporta 1.200 pessoas.

Figura 21 – Perspectiva do projeto de Campina Grande



Fonte: Autor.

Durante a elaboração do projeto, visando a correta mensuração de resultados, todas as tarefas de implantação do BIM desenvolvidas pelos projetistas (criação de bibliotecas, *templates* e aprendizado da ferramenta) foram separadas e alocadas em cronograma como *treinamentos e trabalhos internos*. Desta forma, tentou-se segregar fontes de consumo de tempo referentes ao aprendizado e desenvolvimento de subsídios de projeto, do real tempo gasto no projeto, para que desta forma os resultados obtidos no projeto não fossem mascarados pelos esforços feitos na implantação da nova metodologia de trabalho.

O terceiro projeto a ter os resultados examinados, trata-se do projeto descrito no item 3.3 que utilizou, além da metodologia BIM, como apresenta a Figura 22, as três ferramentas propostas nesta monografia para melhoria da qualidade de projetos. O edifício possui 7.300 m² de área construída, divididas também em Bloco A, Central e B e localiza-se na cidade de Londrina, no estado do Paraná. Neste edifício, diferentemente dos demais apresentados, os Blocos A e B possuem 5 pavimentos que contemplam auditório para 240 pessoas, salas administrativas, salas de aula, estacionamento, apartamentos e estúdio de rádio e TV. Já o Bloco Central é composto por 3 pavimentos, sendo dois de estacionamentos e um com auditório para 1.800 pessoas.

Figura 22 – Perspectiva do projeto de Londrina



Fonte: Autor.

Durante o desenvolvimento deste projeto, igualmente ao caso do projeto de Campina Grande, todos os dias gastos no aprendizado e implantação das ferramentas BIMserver, Autodesk Insight 360 e Dynamo foram alocados em cronograma como *treinamentos e trabalhos internos*. Isso tornou possível a comparação dos dados dos três projetos, considerando as proporções de tempo dedicado em relação ao total de dias de desenvolvimento do respectivo projeto.

Além dos fatores externos ao desenvolvimento do projeto terem sido segregados da análise, o fato de a tipologia dos edifícios ser a mesma agregou maior confiabilidade aos resultados.

Para a análise dos projetos, foram extraídos relatórios que apresentam os dias trabalhados em cada um dos projetos que estão sendo estudados, classificando-se o tempo gasto em cada disciplina, por projetista. Através da separação do total de tempo gasto por colaborador em dias trabalhados devido cada tipo de *controle de demanda*, pode-se caracterizar os resultados do projeto baseando-se em tempo dispendido para sua elaboração e tempo dispendido por falhas de diferentes naturezas.

Em todos os projetos analisados, a empresa forneceu ao contratante (único) as mesmas disciplinas, permitindo a comparação entre resultados obtidos a partir de tarefas semelhantes. Os projetos elaborados pela empresa para os três edifícios foram as seguintes:

- AC - Ar Condicionado
- EC - Estrutura de Concreto
- IE - Instalações Elétricas
- IG - Instalações de Gás Combustível
- IH - Instalações Hidráulicas
- II - Instalações de Incêndio
- IS - Instalações Sanitárias
- SE - Sistemas Especiais
- ENE - Entrada de Energia
- FU – Fundações

Os relatórios extraídos do cronograma de tarefas para os três projetos são apresentados nas Tabelas 6, 7 e 8. Através delas, pode-se perceber que os maiores gastos de tempo são devido ao desenvolvimento dos projetos e os retrabalhos causados por erros internos e na correção de falhas causadas por erros de coordenação e compatibilização. Desta forma, entende-se que para melhoria da eficiência do processo de projetos, devem ser implantadas técnicas e ferramentas que proporcionem aumento da consistência e compatibilização, assim como otimização da coordenação de projetos.

Tabela 6 – Resultados obtidos no projeto de Praia Grande (CAD)

Projeto	Disciplina	Nomes dos recursos	Dias Trabalhados	CC	DP	EC	EG	EI	EP
Praia Grande	AC	Carlos Lima	32,75	-	26,25	2,50	-	4,00	-
	EC	Heloisa	55,25	2,50	48,25	-	2,50	2,00	-
	IE	Andre L	7,75	-	6,50	-	0,75	-	0,50
		Ednelson	20,25	1,75	10,25	3,75	-	4,50	-
		João G	16,00	-	8,50	3,50	-	4,00	-
	IG	Karina	2,75	-	2,75	-	-	-	-
		Alessandro	4,25	-	3,00	-	0,25	1,00	-
	IH	Alessandro	18,25	2,00	9,25	3,50	-	3,50	-
		Claudia	6,00	2,50	-	-	1,50	2,00	-
	II	Fernando	10,25	-	9,00	-	-	1,25	-
	IS	Alessandro	12,50	-	10,25	-	-	2,25	-
	SE	Andre L	21,00	2,00	16,00	-	-	3,00	-
		Ednelson	4,50	0,75	-	-	2,25	1,50	-
		João G	3,25	-	2,00	0,50	-	0,75	-
	ENE	Andre L	12,00	-	8,50	-	2,50	1,00	-
FU	Heloisa	9,75	-	9,75	-	-	-	-	

Fonte: Autor.

Tabela 7 – Resultados obtidos no projeto de Campina Grande (BIM)

Projeto	Disciplina	Nomes dos recursos	Dias Trabalhados	CC	DP	EC	EG	EI	EP
Campina Grande	AC	Abel S	38,00	-	32,50	-	3,50	2,00	-
	EC	Heloisa	25,25	2,50	19,25	-	-	2,25	1,25
		Leonardo C	33,25	-	24,50	3,50	-	5,25	-
	IE	Ednelson	42,25	-	31,00	3,75	-	7,50	-
		Carlos Crispin	8,25	1,25	6,75	-	-	0,25	-
	IG	Alessandro	3,50	-	3,50	-	-	-	-
	IH	Alessandro	12,50	-	12,50	-	-	-	-
		Matheus	9,50	3,25	3,75	-	-	2,50	-
	II	Fernando	5,00	-	5,00	-	-	-	-
		Matheus	3,00	-	1,80	-	-	1,20	-
	IS	Alessandro	7,50	-	7,50	-	-	-	-
		Gilvan	4,00	-	2,00	-	-	2,00	-
	SE	Matheus	2,00	-	-	1,50	-	0,50	-
		Andre L	15,00	1,50	10,00	-	3,50	-	-
	ENE	Ednelson	9,50	-	9,50	-	-	-	-
		Andre L	10,25	-	9,75	-	-	0,50	-
	FU	Ednelson	0,50	-	-	-	0,50	-	-
		Heloisa	8,00	-	7,75	-	-	-	0,25
AQ	Luciana Vieira	13,00	-	13,00	-	-	-	-	

Fonte: Autor.

Tabela 8 – Resultados obtidos no projeto de Londrina (BIM + Ferramentas)

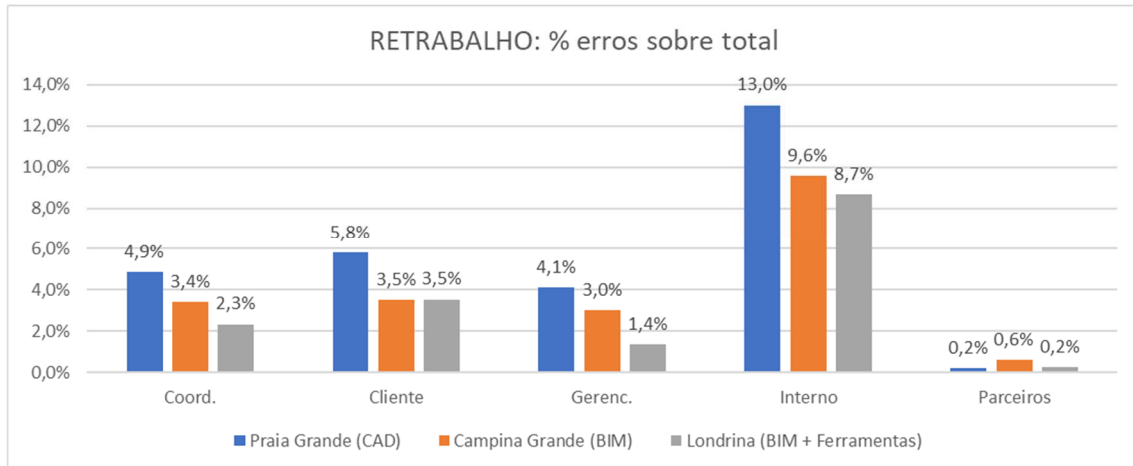
Projeto	Disciplina	Nomes dos recursos	Dias Trabalhados	CC	DP	EC	EG	EI	EP
Londrina	AC	Abel S	47,75	1,75	40,50	2,00	-	3,50	-
		Carlos Lima	1,00	-	1,00	-	-	-	-
	EC	Heloisa	27,50	-	24,75	-	2,75	-	-
		Leonardo C	43,00	2,00	36,50	1,00	-	3,50	-
	IE	Andre L	5,50	-	5,50	-	-	-	-
		Ednelson	30,75	0,25	26,25	2,00	-	2,25	-
		João G	4,00	-	4,00	-	-	-	-
	IG	Carlos Crispin	12,00	-	8,25	1,25	-	2,50	-
		Alessandro	3,25	-	2,50	-	-	0,75	-
	IH	Matheus	2,00	-	2,00	-	-	-	-
		Alessandro	8,25	-	7,75	-	-	0,50	-
		Asthor	7,50	-	7,50	-	-	-	-
	II	Andre M	1,00	-	-	-	-	1,00	-
		Matheus	11,75	-	7,75	2,00	-	2,00	-
		Fernando	7,75	-	5,00	-	-	2,75	-
	IS	Gilvan	3,50	-	3,50	-	-	-	-
		Matheus	2,00	2,00	-	-	-	-	-
	SE	Claudia	8,50	-	6,50	-	-	2,00	-
		Gilvan	12,50	1,25	11,25	-	-	-	-
	ENE	Andre L	23,25	-	20,50	-	-	2,75	-
João G		9,50	-	6,25	-	-	2,50	0,75	
FU	Ednelson	7,50	-	6,50	-	-	1,00	-	
	Karina	2,00	-	2,00	-	-	-	-	
AQ	FU	Leonardo C	12,75	-	10,50	0,75	1,50	-	-
		AQ	Luciana Vieira	17,00	-	15,00	2,00	-	-

Fonte: Autor.

Para uma análise comparativa mais efetiva entre os resultados obtidos, foi feito o gráfico percentual, apresentado na Figura 23, que compara as parcelas de ocorrência de cada tipo de erro frente ao tempo total de desenvolvimento de projeto em cada um dos três empreendimentos estudados.

Através da análise, percebe-se que houve uma redução nos erros de coordenação e compatibilização de 30,6% com a implantação do BIM e posteriormente uma nova redução de 32,3% com a implantação das ferramentas propostas nesta monografia, **totalizando uma redução de 53% na parcela de tempo dispendida em retrabalhos devidos a erros de coordenação e compatibilização**, mesmo tendo o projeto executado em BIM + ferramentas área significativamente maior que o desenvolvido em CAD.

Figura 23 – Gráfico comparativo de cada tipo de erro por projeto



Fonte: Autor.

Da mesma forma, os erros internos tiveram uma queda de 26,1% com implantação do BIM, e posteriormente 9,4% com a implantação das ferramentas de melhoria da qualidade. **No total, em relação ao processo usando CAD, a redução de tempo de retrabalho causado por erros internos foi de 33%**. Acredita-se que as reduções de retrabalhos causados por problemas de processo, como erros de coordenação, compatibilização e internos, são um indicador da maior acurácia que a implantação da plataforma BIM e das ferramentas de melhoria da qualidade trouxeram.

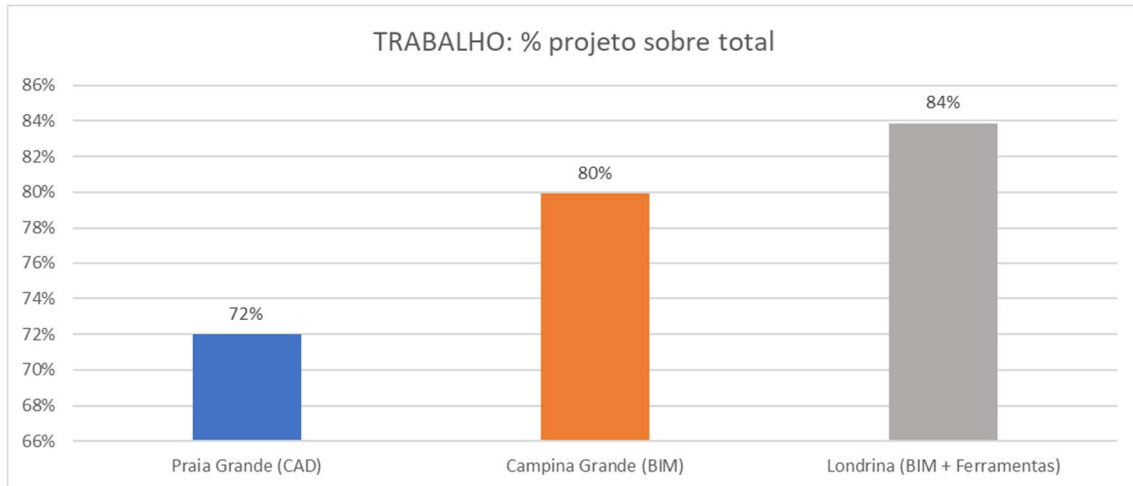
Por outro lado, entende-se que, apesar do impacto significativo que a implantação do BIM e das ferramentas propostas tenham causado no número de erros de Cliente, Gerenciadora e Parceiros, estes resultados foram obtidos indiretamente, visto que estas partes interessadas não passaram a utilizar o BIM como plataforma de trabalho, tendo como único diferencial em seus processos a maior visibilidade que os modelos tridimensionais trazem aos projetos. Desta forma, os dados destes tipos de erro tornam-se mais suscetíveis a particularidades ocorridas durante do desenvolvimento de cada projeto.

Com a redução de grande parte dos erros que ocorrem no processo de projetos, a Figura 24 mostra que houve aumento de 11,1% no tempo gasto para efetiva elaboração e desenvolvimento de projeto com a implantação do BIM e outro aumento de 5,0% após a implantação das ferramentas propostas.

No total, houve um aumento de 16,7% na proporção de tempo de projeto sobre o tempo total dispendido pelos projetistas, com a adoção de BIM e ferramentas auxiliares, o que

demonstra aumento do tempo disponível para atividades que realmente agregam valor ao projeto, como estudo de soluções, detalhamentos, modelagem, cálculos e especificações.

Figura 24 – Gráfico comparativo de tempo gasto em desenvolvimento por projeto

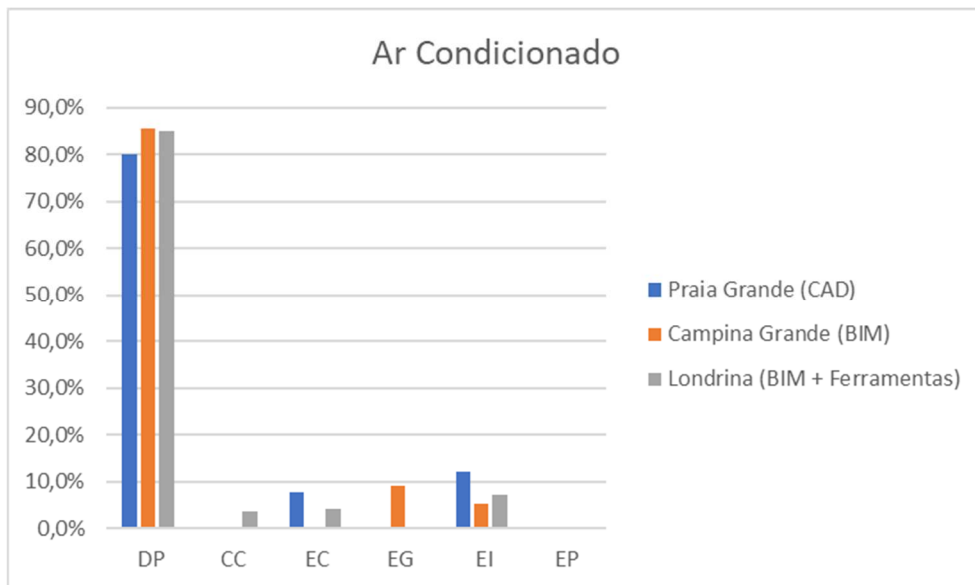


Fonte: Autor.

Nas avaliações dos resultados individualizados das disciplinas, foram analisados apenas os dados referentes à quantidade de erros internos cometidos, que são as falhas que mais devem sofrer impacto com a mudança de plataforma e melhoria de ferramentas. Entende-se que o estudo da quantidade de erros de coordenação e compatibilização, por possuírem carácter de falha no processo de projeto do empreendimento, não são suficientemente representativos quando analisados separadamente.

Para a disciplina de **Ar Condicionado**, como mostra a Figura 25, houve uma redução na quantidade de erros internos de 56,6% com a implantação do BIM e posteriormente um aumento de 35,8% com a implantação das ferramentas propostas. Acredita-se que o aumento observado após a implantação das ferramentas propostas foi causado pela maior complexidade da solução especificada para o projeto de Londrina, visto que, devido à existência de dois subsolos, foi necessária a previsão de um sistema ventilação de garagens para diluição dos gases de escape dos automóveis, necessidade que não existiu para os demais projetos avaliados.

Figura 25 – Gráfico comparativo de Controle de Demanda por projeto de Ar Condicionado

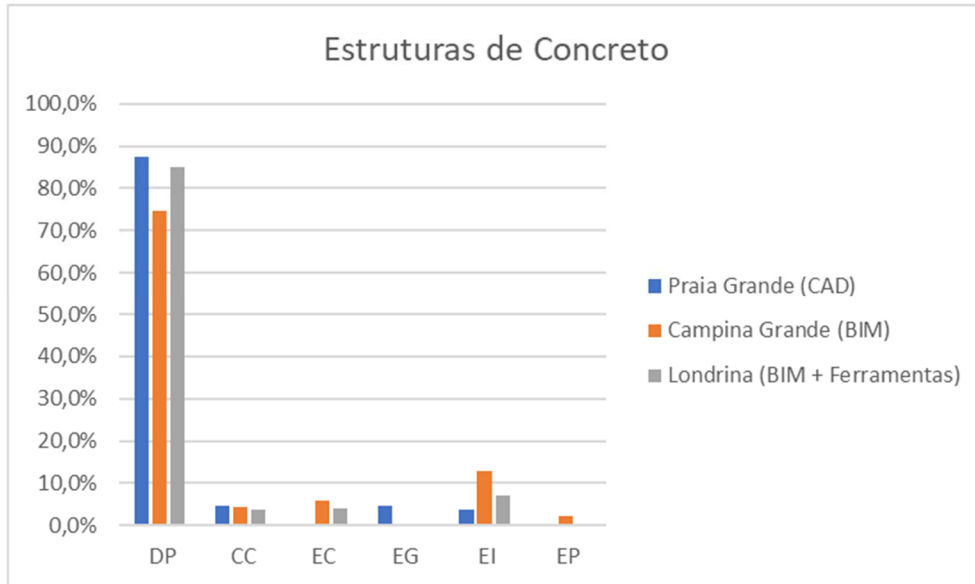


Fonte: Autor.

Através da análise dos dados da disciplina de **Estrutura de Concreto**, apresentados na Figura 26, pode-se observar que houve um aumento de 255,5% na quantidade de tempo ligado a erros internos logo após a implantação da plataforma BIM e, posteriormente, uma redução de 43,7% com a implantação das ferramentas propostas. Acredita-se que o aumento na quantidade de erros para esta disciplina ocorreu pois, anteriormente à implantação, o modelo tridimensional estrutural não era utilizado durante o processo de projeto, permitindo aos projetistas o uso de aproximações de modelagem representativas analiticamente, mas não geometricamente, como no caso de escadas que eram modeladas como lajes planas quando a plataforma utilizada pelas demais disciplinas era o CAD.

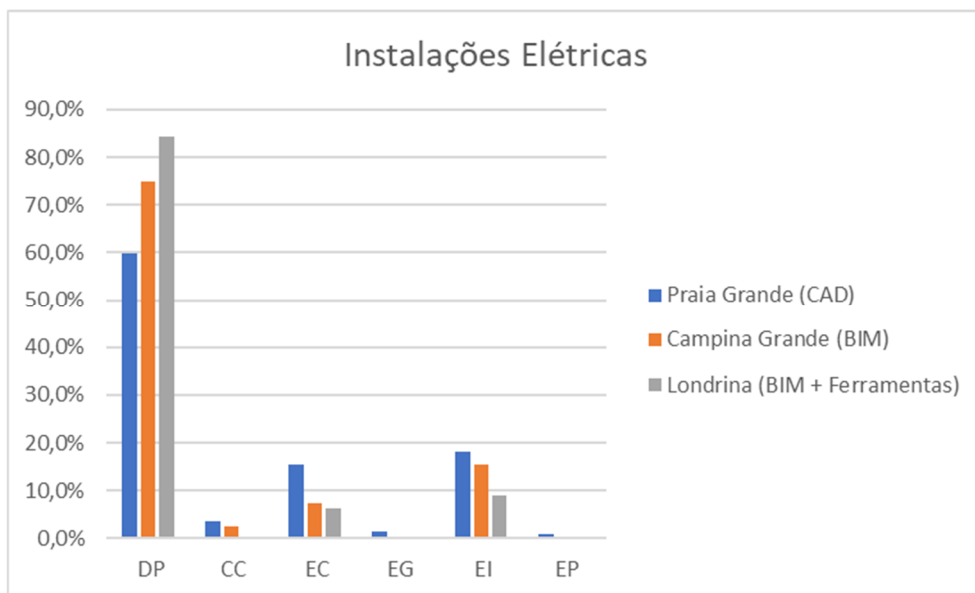
Para a análise da disciplina de **Instalações Elétricas**, como apresenta a figura 27, houve reduções na quantidade de erros internos de 15,9% com a implantação do BIM e de 40,5% com a implantação das ferramentas propostas. Acredita-se que a grande redução após a implantação das ferramentas ocorreu devido à melhoria na conceituação do projeto causada pela utilização das ferramentas de análise de desempenho e aumento na efetividade e eficiência causados pela utilização de ferramentas de programação visual em ajustes de potência causados por mudanças no projeto de ar condicionado.

Figura 26 – Gráfico comparativo de Controle de Demanda por projeto de Estruturas de Concreto



Fonte: Autor.

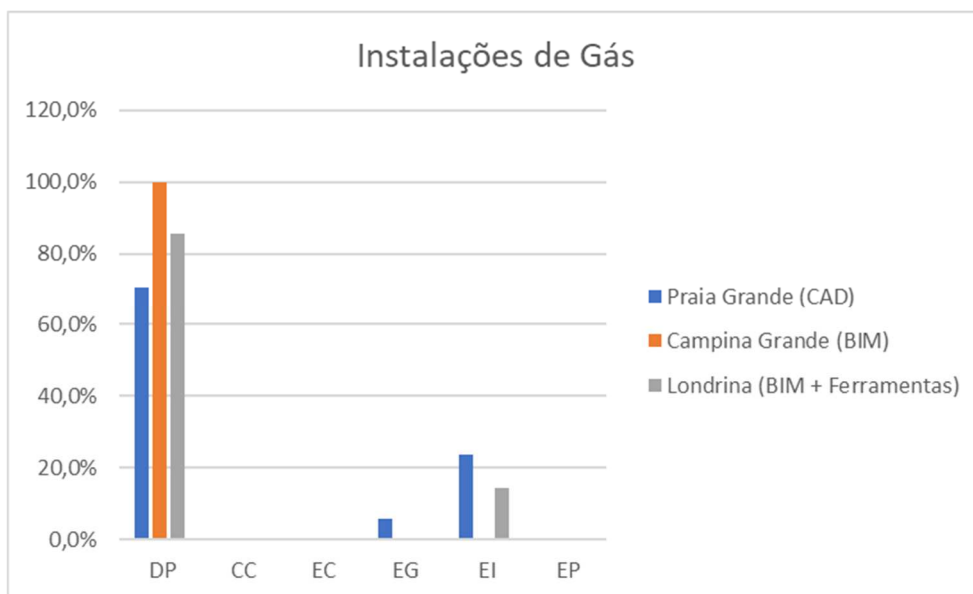
Figura 27 – Gráfico comparativo de Controle de Demanda por projeto de Instalações Elétricas



Fonte: Autor.

Através da observação dos resultados obtidos para a disciplina de **Instalações de Gás**, apresentada na Figura 28, percebe-se que, após a implantação do BIM, não houve erros internos para a disciplina no projeto de Campina Grande e, logo após, com a implantação das ferramentas propostas, 14,3% do tempo gasto no projeto de Londrina foi devido a erros internos, o que representa uma redução de 39,1% em relação ao projeto de Praia Grande. Entende-se que a ausência de erros internos no projeto de Campina Grande se deve ao fato de que este, dentre os três empreendimentos analisados, é o único que possui alimentação de Gás Liquefeito de Petróleo, que trata-se de um sistema mais simples e sem necessidade de validação com concessionárias, como ocorre com os sistemas de Gás Natural, adotados nos demais projetos.

Figura 28 – Gráfico comparativo de Controle de Demanda por projeto de Instalações de Gás

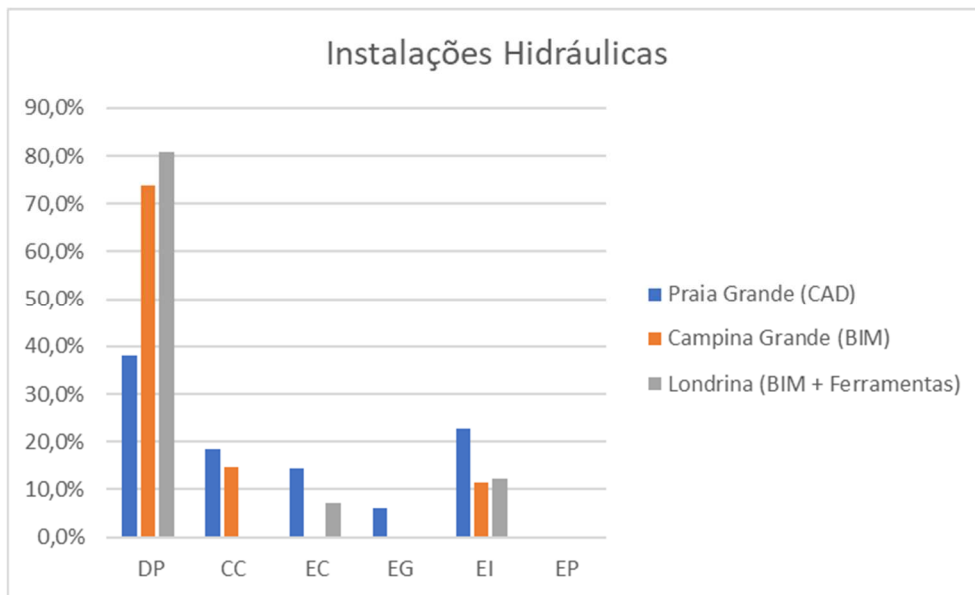


Fonte: Autor.

Para a análise dos dados obtidos na disciplina de **Instalações Hidráulicas**, apresentados na Figura 29, pode-se observar uma redução dos erros internos de 49,8% na implantação do BIM e um pequeno aumento de 7,9% após a implantação das ferramentas propostas. Constatou-se que houve redução de 45,8% nos erros internos cometidos no projeto de Londrina, elaborado com BIM e ferramentas propostas, em comparação com o projeto de Praia Grande, feito em plataforma CAD. Acredita-se que o aumento na quantidade de erros internos no projeto de Londrina, em relação ao projeto de Campina Grande, pode ter sido ocasionado pela maior

complexidade da instalação hidráulica do empreendimento, visto que, dentre os três projetos analisados, apenas para este foi previsto sistema de aproveitamento de água de chuva.

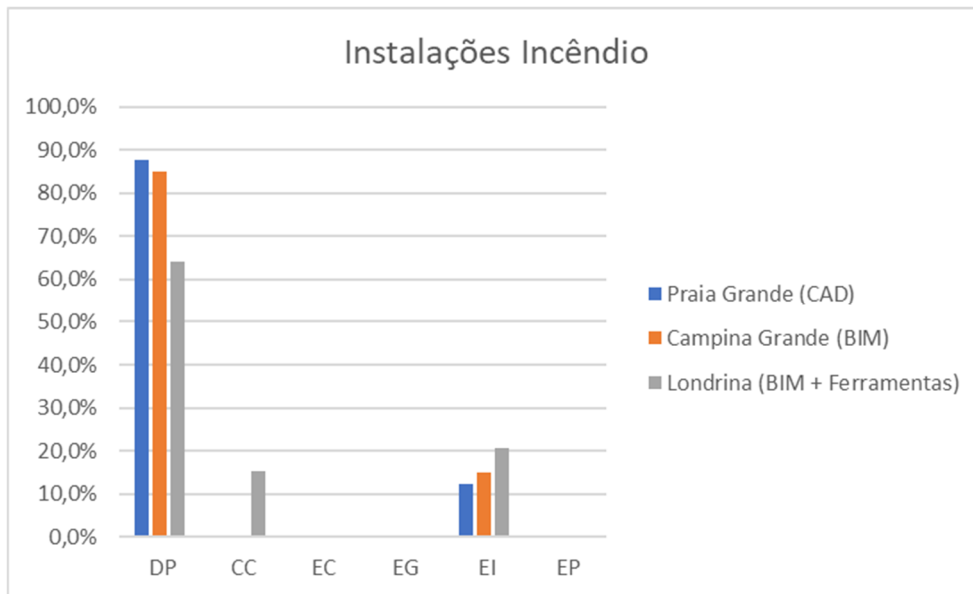
Figura 29 – Gráfico comparativo de Controle de Demanda por projeto de Instalações Hidráulicas



Fonte: Autor.

Através do estudo dos resultados obtidos na disciplina de **Instalações de Incêndio**, como mostra a Figura 30, percebe-se que após a implantação do BIM houve um aumento de 22,9% na quantidade de erros internos, e posteriormente, com a implantação das ferramentas propostas, houve outro aumento de 38,7%. Acredita-se que o aumento na quantidade de erros após a implantação do BIM possivelmente tenha sido ocasionado pela incorporação da aprovação do projeto legal no corpo de bombeiros, escopo que não foi executado no projeto elaborado em plataforma CAD. Entende-se, também, que o aumento de erros internos no projeto de Londrina em relação ao projeto de Campina Grande, tenha sido causado pela maior complexidade do projeto de combate de incêndio na área de Estúdio de Rádio e TV, onde foi solicitada uma solução por supressão contra incêndio para evitar danos aos equipamentos.

Figura 30 – Gráfico comparativo de Controle de Demanda por projeto de Instalações de Incêndio

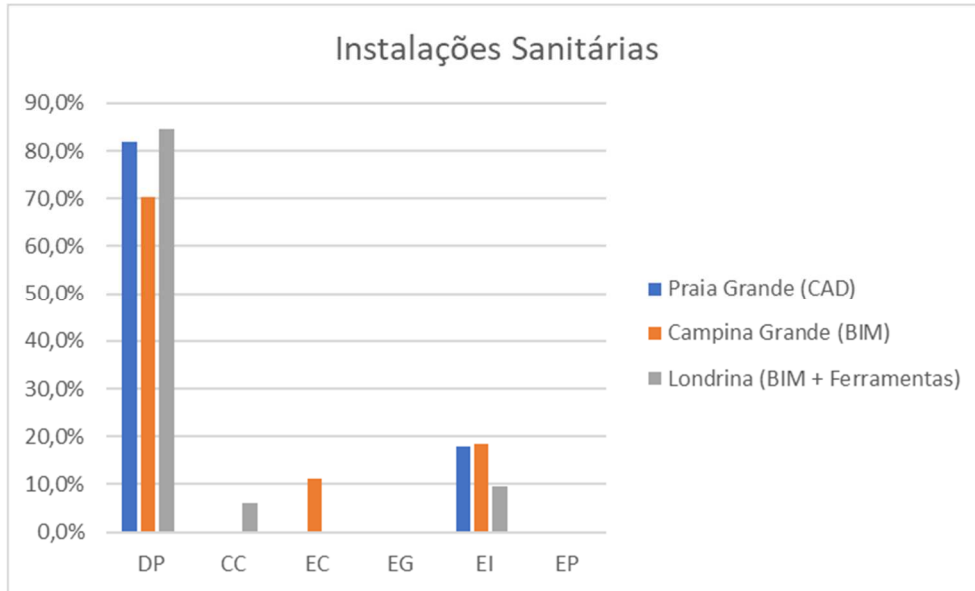


Fonte: Autor.

Examinando-se os resultados obtidos para a disciplina de **Instalações Sanitárias**, apresentados na Figura 31, percebe-se um pequeno aumento de 2,8% na quantidade de erros internos após a implantação da metodologia BIM e sucessivamente uma redução de 48,7% após a implantação das ferramentas propostas. Entende-se que o aumento nos erros após a implantação do BIM tenha se dado devido à dificuldade inicial encontrada pelos projetistas na modelagem de tubulações de esgoto com caimento, que foi logo superada após um treinamento interno de melhores práticas para modelagem desse tipo de sistema, ministrado pelo projetista mais experiente no desenvolvimento de modelos sanitários.

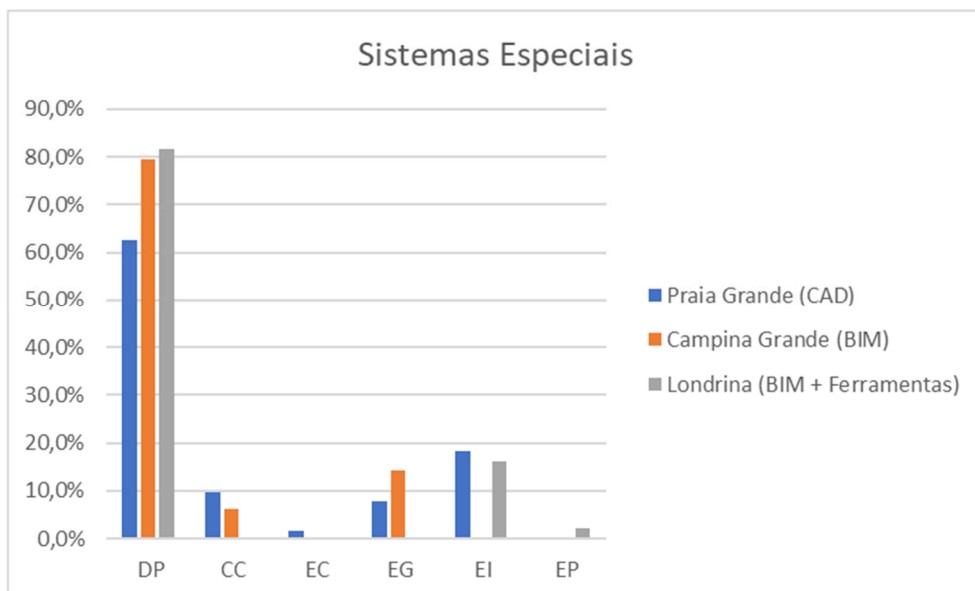
Para a disciplina de **Sistemas Especiais**, pode-se perceber, a partir da análise dos resultados apresentados na Figura 32 que, para o projeto de Campina Grande, quando foi implantado o BIM, não houve erros internos e, posteriormente, no projeto de Londrina, quando foram implantadas as ferramentas propostas, houve uma queda de 12,6% em relação ao projeto de Praia Grande que foi elaborado em plataforma CAD. Acredita-se que para o projeto de Campina Grande não houve erros internos pelo fato de as soluções escolhidas pelo cliente tenham sido muito parecidas com as utilizadas em Campina Grande, o aumento percentual para o projeto de Londrina se deve a necessidade de instalações de maior complexidade, devido à presença de Estúdio de Rádio e TV neste empreendimento, diferentemente dos demais projetos analisados.

Figura 31 – Gráfico comparativo de Controle de Demanda por projeto de Instalações Sanitárias



Fonte: Autor.

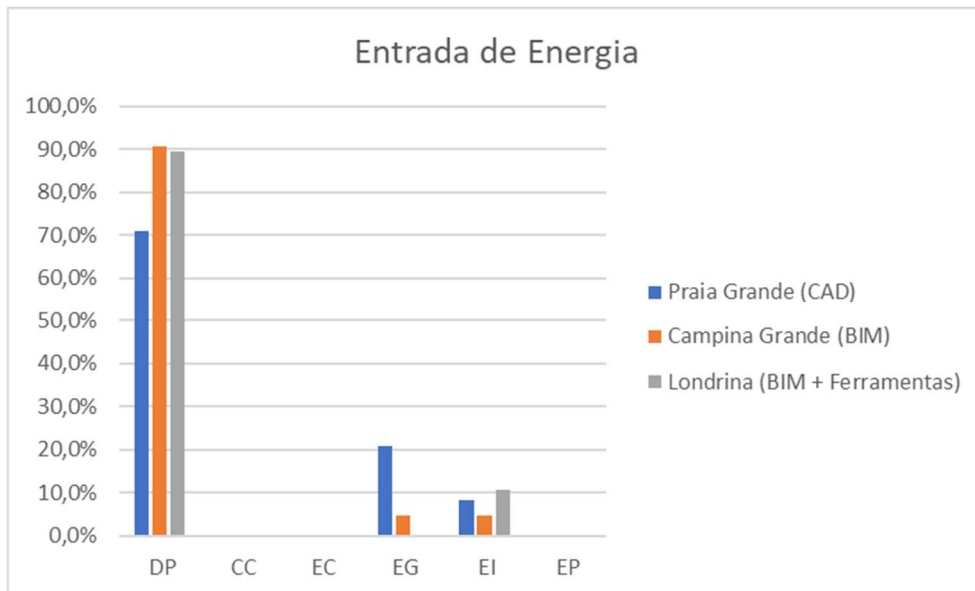
Figura 32 - Gráfico comparativo de Controle de Demanda por projeto de Sistemas Especiais



Fonte: Autor.

Para a elaboração do projeto de **Entrada de Energia**, pode-se observar, através da Figura 33 que inicialmente houve uma redução de 43,4% na quantidade de erros internos logo após a implantação do BIM e um aumento de 123,4% após a implantação das ferramentas propostas. Acredita-se que o aumento dos erros internos no projeto de Londrina tenha ocorrido por causa da maior complexidade do sistema projetado pois, dentre os três projetos estudados, este é o único que possui sistemas de gerador e nobreak, devido à necessidade de alimentação ininterrupta para a área de Estúdio de Rádio e TV.

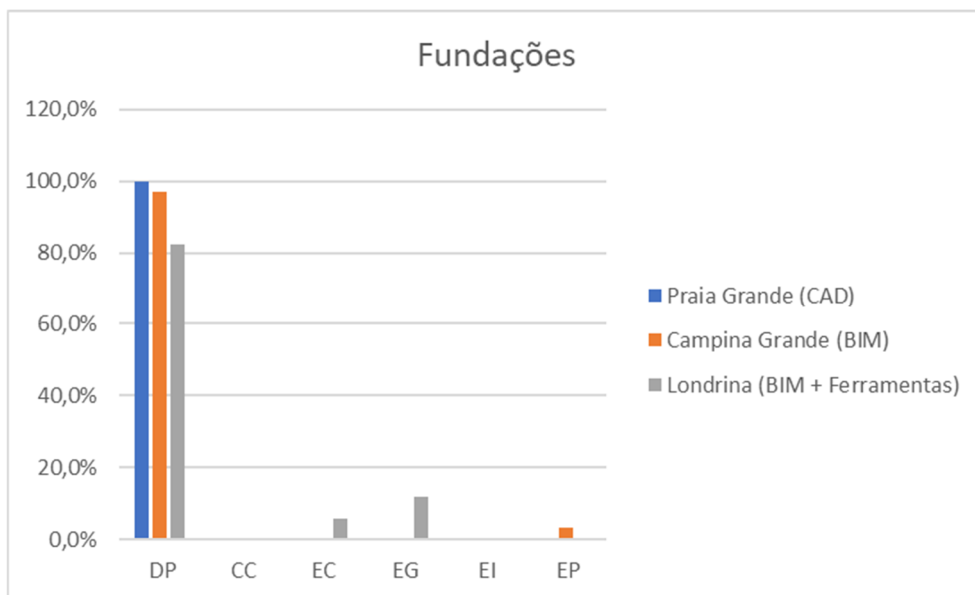
Figura 33 – Gráfico comparativo de Controle de Demanda por projeto de Entrada de Energia



Fonte: Autor.

Para a disciplina de **Fundações**, não houve erros internos em nenhum dos três projetos analisados (Figura 34). Acredita-se que esta disciplina não apresentou alterações pois o processo foi pouco impactado diante das implantações do BIM e das ferramentas para melhoria da qualidade propostas, visto que a metodologia de desenvolvimento do projeto e os softwares de cálculo utilizados se mantiveram os mesmos, tendo como principal diferença a maior visibilidade do terreno, que passou a ser modelado internamente na base de arquitetura.

Figura 34 – Gráfico comparativo de Controle de Demanda por projeto de Fundações



Fonte: Autor.

Os dados mostrados nas Tabelas 7 e 8 também trazem informações sobre a disciplina de **Arquitetura (AQ)** referente a elaboração de bases em BIM, porém, como não fazia parte do escopo do projeto de Praia Grande (CAD), não pode ser analisada em comparação aos demais projetos, que adotaram BIM.

Através da análise das comparações de desempenho entre as mesmas disciplinas nos três projetos estudados, entende-se que a observação individual dos erros internos das disciplinas está mais suscetível a fatores isolados, visto que o aumento de complexidade do projeto, por exemplo, pode causar grandes impactos no número de falhas, independentemente da ferramenta ou processo que está sendo utilizado. Adicionalmente, erros cometidos numa disciplina podem impactar os resultados obtidos na análise de outras disciplinas, visto que a definição utilizada para erros internos abrange qualquer erro cometido pela equipe projetista durante a elaboração do projeto. Por fim, variações de soluções de engenharia adotadas em cada projeto, bem como de escopo de contratação e de porte do sistema, certamente têm importância relevante na demanda de retrabalhos por erros internos, prejudicando a avaliação mais precisa do impacto isolado da adoção de BIM no empreendimento em cada disciplina.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A implantação de metodologia e ferramentas BIM que auxiliaram na melhoria da qualidade e acurácia dos projetos, chamou a atenção dos projetistas para as muitas possibilidades que o uso dos modelos BIM permite. De forma geral, a implantação e operação das ferramentas ocorreu com poucos obstáculos, visto que os profissionais já trabalhavam utilizando a metodologia BIM há algum tempo antes de iniciar o uso dos softwares propostos, o que facilitou muito o entendimento e aplicação das plataformas dentro do processo produtivo da empresa.

Todas as ferramentas aplicadas visavam a melhoria do projeto-processo da empresa, visto que o software de autoria já proporciona grande incremento na apresentação dos desenhos em relação aos produtos elaborados em plataformas bidimensionais. O custo-benefício dessas implantações também deve ser salientado, visto que duas das ferramentas utilizadas, Autodesk Insight e Dynamo, já estão inclusas no pacote do software de autoria Revit e a terceira ferramenta é uma plataforma gratuita, restando como investimento para a implantação apenas o valor dos treinamentos.

Em termos de gestão do processo, pode ser percebida uma substancial melhora, visto que o uso das ferramentas trouxe à tona problemas que existiam no processo, tonando mais clara a estratégia para resolução dos mesmos. A partir da organização do processo, tornou-se possível a extração de dados que permitem avaliar a performance da empresa sob a ótica da qualidade e eficiência de suas operações, tanto frente à concepção, quanto em relação ao fluxo de informações internas e compatibilização.

Através da análise dos resultados obtidos com o uso das ferramentas e comparação com projetos de mesma tipologia que foram elaborados utilizando apenas a metodologia BIM, sem as ferramentas propostas, e utilizando a tecnologia CAD, pode-se perceber, através de métricas, a menor quantidade de erros internos e falhas de coordenação durante o desenvolvimento dos projetos, mostrando que as melhorias feitas no processo através das ferramentas implantadas trouxe redução de retrabalhos, atendendo aos objetivos específicos do trabalho, conforme apresentado no item 1.2.2.

Deve-se destacar que a análise individual das disciplinas em relação aos erros internos está muito suscetível a variações de complexidade e falhas de outras disciplinas, assim como os erros de coordenação podem ser entendidos como falhas de procedimento, que não está bem estruturado ou não está sendo executado corretamente.

Apesar de o projeto exposto no estudo de caso representar apenas uma amostra limitada dos benefícios trazidos com a implantação das plataformas, pressupõe-se que sua análise seja significativamente importante como referência para organizações que almejam solucionar problemas em seu processo produtivo com o auxílio de ferramentas BIM, melhorando assim a qualidade de seus projetos. A descrição do desenvolvimento do projeto permitiu a documentação de métodos utilizados frente aos obstáculos encontrados durante sua elaboração e produção, apresentando formas que a empresa encontrou de extrair benefícios da metodologia BIM congruentes com seu processo produtivo.

Espera-se que o estudo de caso apresentado possa estimular a elaboração de novos trabalhos e diferentes pesquisas no campo abordado nesta monografia. Como opções para futuros estudos, sugerem-se os seguintes temas:

- Estudo de caso em BIM: Implantação de Dimensionamento Automático de Infraestruturas para Sistemas Prediais;
- Análise da Melhoria do Fluxo de Informações em Projetos com a Implantação de um Servidor de Modelos BIM;
- Desenvolvimento de Processo Otimizado de Coordenação de Projetos em BIM.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACHTEN, H.; BEETZ, J. What Happened to Collaborative Design? In: Conference on Education and Research in Computer Aided Architectural Design in Europe. 27., 2009, Istanbul. **Proceedings ...**, Istanbul: eCAADe & ITL/YTU, p.358-365, 2009.

AMORIM, S. R. L. Qualidade na construção: muito além da ISO 9000. In: Congresso Latino Americano Tecnologia e Gestão na Produção de Edifícios: soluções para o 3º milênio. 1998, São Paulo. **Anais....** São Paulo: EPUSP/PCC. v.2, p. 403-408, 1998.

AMORIM, S. R. L. Gerenciamento e coordenação de projetos BIM: um guia de ferramentas e boas práticas para o sucesso de empreendimentos. 1.ed. Elsevier. Rio de Janeiro, 2018.

ANDERLE, M.; ALLEN, R. **20 Practical Uses of Dynamo for Revit to Improve Team Efficiency**. Autodesk University - Las Vegas, 2016.

ANDERY, P. R.; VEIGA, A. C. R. Considerações sobre o gerenciamento de projetos complexos: o caso de exposições museográficas. **CONSTRUINDO**, v.5, n.2, 2013.

AUTODESK **Discover Dynamo**, 2016. Disponível em: <<http://dynamobim.org/explore/>>. Acesso em: 15 jan. 2019.

AUTODESK SUSTAINABILITY WORKSHOP. **Vasari/Revit: Basic Energy Loads**, 2017. Disponível em: <<https://sustainabilityworkshop.autodesk.com/buildings/vasarirevit-basiceenergy-loads>>. Acesso em: 15 jan. 2019.

BAÍA, J. L. **Sistemas de gestão da qualidade em empresas de projeto: aplicação ao caso das empresas de arquitetura**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil, 1998.

BOBROFF, J. The Project management: a new profile for the actors in the building industry.” In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO - ENTAC 1993, 5., São Paulo. **Anais....**, ANTAC: São Paulo, São Paulo. v. 1, p. 41-51, 1993.

CBIC, 2013. **Guia orientativo para atendimento à norma ABNT NBR15575:2013**. Brasília, 2013.

CHRISTAKOU, E. D., **Simulação Computacional da Luz Natural Aplicada ao Projeto de Arquitetura**. Dissertação de Mestrado em Arquitetura, FAU/ UNB, 2004

CRUZ, R. C.; QUALHARINI, E. A qualidade da informação dos desenhos do projeto de estrutura de concreto armado. In: Workshop Brasileiro de Gestão do Processo de Projeto, 4., 2004. **Anais...**, Rio de Janeiro, 2004.

DAWOOD, N; SRIPRASERT, E.; MALLASI, Z; HONNS, B. 4D visualization development: Real Life Case Studies. In: INTERNATIONAL COUNCIL FOR RESEARCH AND INNOVATION IN BUILDING AND CONSTRUCTION CIB W78 Conference. 19. Aarhus. **Proceedings of...**, Aarhus: Aarhus School of Architecture, 2002.

EASTMAN, C. et al. **BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling**. New Jersey: John Wiley & Sons, 2008.

FABRICIO, M. M. **Projeto simultâneo: um modelo para gestão integrada da concepção de edifícios**. Notas de Aula da Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos. São Carlos, 2004.

FABRICIO, M. M.; ORNSTEIN, S. W.; MELHADO, S. B. Conceitos de qualidade no projeto de edifícios. In: FABRICIO, M. M.; ORNSTEIN, S. W. (Eds.). **Qualidade no projeto de edifícios**, São Carlos: RiMa Editora, 2010.

FAVARETTO, F. Melhoria da qualidade da informação no controle da produção: estudo exploratório utilizando Data Warehouse. **Gestão & Produção**, v. 17, n. 2, p. 343-353, Maio/Ago. 2007.

FERREIRA, A. B. H. **Novo dicionário eletrônico Aurélio versão 5.11a**. 3.ed. Curitiba: Positivo, 2004.

FLORIO, W. Contribuições do Building Information Modeling no processo de projeto em arquitetura. In: ENCONTRO DE TECNOLOGIA DE INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO CIVIL, 3., 2007, Porto Alegre. **Anais...**, Porto Alegre: UFPR, 2007.

GARVIN, D. A. What does “product quality” really mean? **MIT Sloan Management Review**, v.26, n.1, p.25-41, 1984.

GIANNETTI, B. F.; ALMEIDA, C. M. V. B. **Ecologia Industrial: conceitos, ferramentas e aplicações**. São Paulo: Blucher, 2006.

GOZZI, S.; OLIVEIRA, O. J. Sistema de gestão da qualidade em empresas de construção: Um estudo de caso. In: V SEMEAD - Seminário de Administração, 5., 2001, São Paulo. **Anais do V SEMEAD - Seminário de Administração**, v. 1. p. 1-15, 2001.

GRILO, L. M.; PEÑA, M. D.; SANTOS, L. A., et al. Análise da implementação dos princípios de gestão da qualidade em empresas de projeto. In: Simpósio Brasileiro de Gestão da Qualidade e Organização do Trabalho no Ambiente Construído, 2., 2001, Fortaleza. **Anais...**, Fortaleza: ANTAC, 2001.

GU, N.; LONDON, K. Understanding and facilitation BIM adoption in the AEC industry. **Automation in Construction**, v. 19, n. 8, p. 988-999, 2010.

MARSHALL JUNIOR, I.; ROCHA, A. V.; MOTA, E. B.; QUINTELLA, O. M. **Gestão da qualidade e processos**. Rio de Janeiro, RJ: Editora FGV, 2012. 204p

KANT, E. Understanding and Automating Algorithm Design. **IEEE Transactions on Software Engineering**, v. SE-11, n.11, p. 1361-1374, nov. 1985.

KENSEK, K. Visual programming for building information modeling: Energy and shading analysis case studies. **Journal of Green Building**, v.10, n. 4, p. 28–43, 2015.

KOSKELA, L. Application of the new philosophy to construction. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO. Florianópolis. Qualidade no processo construtivo. **Anais...**, Florianópolis: UFSC/ANTAC, 1998.

KRYGIEL, E.; KIES, B. **Green BIM: Successful Sustainable Design with Building Information Modeling**. 1ª edição, Sybex, 2008, 241 p.

KVAN, T. Collaborative design: what is it? **Automation in Construction**, v. 9, n. 4, p. 409-415, 2000.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência energética na arquitetura**. 3ª edição. Rio de Janeiro: ELETROBRAS/PROCEL, 2014.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência Energética na Arquitetura**. São Paulo: PW, 1997.

LAUBMEYER, L. A. S.; MAGALHÃES, A. L. F.; LEUSIN, S. R. A. Impactos do uso do BIM em escritórios de arquitetura: Oportunidades no mercado imobiliário. In: Encontro de Tecnologia de Informação e Comunicação na Construção Civil, 4, 2009, Rio de Janeiro. **Anais...**, Rio de Janeiro, 2009.

LEITÃO, A.; SANTOS, L.; LOPES, J. Programming Languages for Generative Design: Programming Languages For Generative Design. **International Journal of Architectural Computing**, v. 10, n.1, p. 139–162, 2012.

LÉVY, P. **Cibercultura**. Tradução: Carlos Irineu da Costa. Rio de Janeiro: Editora 34, 1999.

LINO, J. C.; AZENHA, M.; LOURENÇO, P. Integração da Metodologia BIM na Engenharia de Estruturas. BE2012-ENCONTRO NACIONAL BETÃO ESTRUTURAL, **Anais...**, 2012.

MELHADO, S. B. **Gestão, cooperação e integração para um novo modelo voltado à qualidade do processo de projeto na construção de edifícios**. 2001. Tese (Livre-Docência) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo: EPUSP. 235p., 2001.

MESEGUER, A. G. **Controle e garantia da qualidade na construção**. Trad. de Roberto José Falcão Bauer, Antonio Carmona Filho e Paulo Roberto do Lago Helene. São Paulo, Sinduscon-SP/Projeto/PW, 1991.

MITCHELL, W. J. A **Lógica da Arquitetura Projeto, Computação e Cognição**. Tradução de Gabriela CELANI. Campinas SP: Editora da Unicamp, 2008.

MORAES, R. O.; LAURINDO, F. J. B. Um estudo de caso de gestão de portfólio de projetos de Tecnologia da Informação. **Gestão & Produção** v.10, n.3, p.311-328, São Carlos, dez. 2003.

MÜLLER, A. L.; SAFFARO, F. A. A prototipagem virtual para o detalhamento de projetos na construção civil. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 11, n. 1, p. 105-121, jan./mar, 2011.

NEGENDAHL, K. Building performance simulation in the early design stage: An introduction to integrated dynamic models, **Automation in Construction**, v. 54, p. 39-53, 2015.

NOVAES, C. C. Ações para controle e garantia da qualidade de projetos na construção de edifícios. In: Workshop Nacional Gestão do Processo de Projeto na Construção de Edifícios, 1., 2001, São Carlos. **Anais...** São Carlos: EESC/USP, 2001.

OLIVEIRA, O. J.; FABRÍCIO, M. M.; MELHADO, S. B. Improvement of the design process in the building construction. In: CIB World Building Congress. **Proceedings...**, Toronto: CIB, 2004.

PAVLOV, P. **Automation of information flow from Revit to BSim using Dynamo**. 2015. Dissertação (Mestrado), Programa de Gerenciamento da indústria da construção da Universidade de Aalborg, Aalborg, 2015.

PEREIRA, E. S. S.; MUTTI, C. N.; JUNGLES, A. E.; ELY, D. M. Causas do atraso na entrega de edifícios residenciais. In: Encuentro Latinoamericano de Gestión y Economía de la Construcción, Santiago. 4., **Anais...**, Santiago: PUC-Chile, 2011.

PICCHI, F.A. **Sistemas da qualidade: uso em empresas de construção de edifícios**. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo: EPUSP, 1993. 426p.

RODRÍGUEZ, M.A.; HEINECK, L. F. M. Coordenação de projetos: uma experiência de 10 anos dentro de empresas construtoras de médio porte. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE

GESTÃO DA QUALIDADE E ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2., 2001, Fortaleza. **Anais...**, Fortaleza: Bristol, 2001.

ROMERO, J. M.; SCHEER, S. Potencial da Implementação da BIM no Processo de Aprovação de Projetos de Edificação na Prefeitura Municipal de Curitiba. In: SBQP 2009 - Simpósio Brasileiro de Qualidade do Projeto no Ambiente Construído, 1., 2009, São Carlos. **Anais...**, São Carlos, 2009.

RUSCHEL, R. C.; VALENTE, C. A. V.; CACERE, E.; DE QUEIROZ, S. R. S. L. O papel das ferramentas BIM de integração e compartilhamento no processo de projeto na indústria da construção civil. **Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, Campinas, v. 7, n. 3, p. 36-54, dez. 2013.

SACHS, A.; NAKAMURA, J. Desempenho revisado. **Téchne**, n. 192, p. 42-49, Março 2013.

SANTOS, G. S. Como a compatibilização de projetos pode diminuir custos, gastos e retrabalhos na Construção Civil. **Revista Especialize online**, Goiânia, v.1, n.9, 2014. Disponível em: <<http://www.ipoggo.com.br/revista-ipog/download/como-a-compatibilizacao-de-projetos-pode-diminuir-custos-gastos-eretrabalhos-na-construcao-civil>>. Acesso em: 30 de jan. de 2019.

SILVA, M. V. M. F. P. **As atividades de coordenação e a gestão do conhecimento nos projetos de edificações**. São Carlos: Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina, 2004.

SOUZA, R.; MEKBEKIAN, G.; SILVA, M. A. C.; LEITÃO, A. C. M. T.; SANTOS, M. M. **Sistema de Gestão da Qualidade para empresas construtoras**. São Paulo: Editora PINI, CTE, SEBRAE/SP, SINDUSCON/SP, 1994.

TERZIDIS, K. **Algorithmic Architecture**. 1ª ed. Oxford: Elsevier, 2006.

TOBIN, J. atomicBIM: Splitting Data to Unleash BIM's Power. **AEC Bytes**, Building the Future (Article), October 2008. Disponível em: <<http://www.aecbytes.com>> Acesso em: 16 jan. 2019.

TOLEDO, J. C. Gestão da mudança da qualidade de produto. 1994. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1994.

TRIPP, D. Pesquisa-ação: uma introdução metodológica. **Educação e pesquisa**, v. 31, n. 3, p. 443-466, 2005.

TSE T. K.; WONG K. A.; WONG K. F. The utilisation of building information models in nD modelling: A study of data interfacing and adoption barriers. **Journal of information technology in construction (ITcon)**, v. 10, n. 8, p. 85-110, 2005. Disponível em: <<http://www.itcon.org/2005/8>>. Acesso em: 25 jan. 2019.

TZORTZOPOULOS, P. **Contribuições para o desenvolvimento de um modelo do processo de projeto de edificações em empresas construtoras incorporadoras de pequeno porte**. Dissertação (Mestrado). Porto Alegre: Escola de engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1999.

WILKINSON, P. **Construction collaboration technologies: the extranet evolution**. New York: Taylor & Francis, 2005.