CAROLINA YUMI KUBO TAKAGAKI

**Regras de verificação e validação de modelos BIM para sistemas
prediais hidráulicos e sanitários**

São Paulo

CAROLINA YUMI KUBO TAKAGAKI

**Regras de verificação e validação de modelos BIM para sistemas
prediais hidráulicos e sanitários**

Dissertação apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo
para obtenção do título de Mestre em
Ciências

Área de Concentração:

Inovação na Construção Civil

Orientador:

Profa. Dra. Lúcia Helena de Oliveira

São Paulo

2016

Este exemplar foi revisado e corrigido em relação à versão original,
sob
responsabilidade única do autor e com a anuência de seu orientador.

São Paulo, _____ de _____ de _____

Assinatura do autor: _____

Assinatura do orientador: _____

Catálogo-na-publicação

Takagaki, Carolina

Regras de verificação e validação de modelos BIM para sistemas prediais
hidráulicos e sanitários / C. Takagaki -- versão corr. -- São Paulo, 2016.
113 p.

Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São
Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil.

1. Building information modeling 2. Sistemas prediais 3. Instalações prediais
hidráulicas e sanitárias I. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica.
Departamento de Engenharia de Construção Civil II. t.

AGRADECIMENTOS

À minha orientadora, Profa. Lúcia Helena de Oliveira, por todo o conhecimento compartilhado e cuja motivação me ajudou a concluir este trabalho e ao Prof. Fabiano Rogério Corrêa, que tanto me auxiliou na elaboração desta pesquisa.

Agradeço também minha família, namorado, amigos e a todos que colaboraram direta ou indiretamente na pesquisa por todo apoio e compreensão para a elaboração da mesma.

RESUMO

A complexidade das atuais edificações e, conseqüentemente, a divisão dos projetos em especialidades e subsistemas evidenciam as dificuldades do coordenador de projetos em gerenciar todo o processo de projeto. Há necessidade de um fluxo contínuo de troca de informações e de comunicação entre os envolvidos. A prática do BIM (Building Information Modeling) e o emprego de suas ferramentas computacionais propiciam aos projetistas a agilidade e precisão no desenvolvimento do projeto, uma vez que possibilita, por exemplo, uma visualização da interação de todos os subsistemas do edifício. No entanto, o cenário atual da tecnologia não provê ferramentas para todos os fluxos de trabalho necessários, e quando fornece, nem sempre o software disponível segue as normas específicas para determinada aplicação em certo país. As normas técnicas estabelecem requisitos e recomendações relativos ao projeto e devem ser observadas por projetistas para a segurança e qualidade das edificações. Neste sentido, o objetivo desta pesquisa é desenvolver regras de verificação e validação de modelos BIM para sistemas prediais com base em normas técnicas brasileiras, tais como a de sistemas prediais de água, de esgoto sanitário e de águas pluviais. O método empregado considera o levantamento das recomendações normativas e suas respectivas transformações em regras que possam ser verificadas automaticamente por meio de programas de computador. O programa adotado foi o software Solibri Model Checker (SMC), que faz uso de modelos em Industry Foundation Classes (IFC). Os resultados mostram que regras simples de comparação e relacionadas a propriedades de cada elemento são possíveis de serem parametrizadas no SMC e têm resultados sólidos de fácil visualização, o que permite uma correção mais rápida e dinâmica por parte dos projetistas e coordenadores de projeto. Para regras mais complexas, necessitou-se da criação de ferramentas paralelas ao SMC. Constata-se que o SMC ainda é incompleto quando se trata da análise de projetos de sistemas prediais hidráulicos e sanitários, porém é possível desenvolvê-las uma vez que o modelo em IFC pode conter todas as informações necessárias às análises. Assim, verifica-se a necessidade de que os projetos BIM contenham as informações e obedeçam a padrões de modelagem para que possam ser utilizados na verificação de regras de modo eficiente. Por fim, os resultados desta pesquisa contribuem para o emprego do BIM no desenvolvimento e análise de projeto de sistemas prediais hidráulicos e sanitários com maior precisão, agilidade e qualidade.

Palavras-chave: Building information modeling. Sistemas prediais. Instalações prediais hidráulicas e sanitárias.

ABSTRACT

The complexity of existing buildings and, consequently, the division of projects and sub-specialties highlight the difficulties the project coordinator to manage the entire design process. There is a need for a continuous flow of information exchange and communication among stakeholders. The practice of BIM (Building Information Modeling) and the use of their computational tools provide designers the speed and accuracy in the development of the project, as it enables, for example, a preview of the interaction of all building subsystems. However, the current technology landscape does not provide tools for all to workflows required, and when it does, they do not always follow standards a specific application in a given country. The technical standards contain requirements and recommendations relating to the project and must be observed by designers for the safety and quality of the buildings. In this sense, the objective of this research is to develop procedures for verification and validation of BIM models for building systems based on Brazilian technical standards, such as building systems for water, sanitary sewer and storm water. The employed method considers the collection of policy recommendations and their changes in rules that can be automatically checked using computer programs. The adopted program was Solibri Model Checker software (SMC), which makes use of models in Industry Foundation Classes (IFC). The results show that simple comparison rules and related properties of each element are able to be parameterized in the SMC and have solid results for easy viewing, allowing faster correction and dynamic on the part of designers and design engineers. For more complex rules the creation of parallel tools to SMC is needed. It appears that the SMC is still incomplete when it comes to the analysis of hydraulic and sanitary building systems projects, but you can develop them as the model in IFC can contain all the necessary information to the analysis. Thus, there is a need that the BIM projects contain the information and comply with standards for modeling which can be used to verify rules efficiently. Finally, the results of this research contribute to the use of BIM in the development and design analysis of hydraulic building systems and toilets with greater accuracy, speed and quality.

Keywords: BIM. Building systems. Sanitary hydraulic building installations.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	7
2	OBJETIVOS	10
3	O SETOR DA CONSTRUÇÃO E O BIM	11
3.1	O PROCESSO DE EXECUÇÃO DE PROJETOS E O BUILDING INFORMATION MODELLING (BIM)	11
3.2	INDUSTRY FOUNDATION CLASSES (IFC)	14
3.3	SOLIBRI MODEL CHECKER	18
3.4	SISTEMAS PREDIAIS	21
3.4.1	Sistema predial de água fria	21
3.4.2	Sistema predial de água quente	22
3.4.3	Sistema predial de esgoto sanitário	23
3.5	NORMALIZAÇÃO TÉCNICA NO BRASIL E SUA AUTOMATIZAÇÃO	24
4	MÉTODO DE PESQUISA	27
5	RECOMENDAÇÕES NORMATIVAS A SEREM VERIFICADAS EM PROJETO DE SISTEMAS PREDIAIS	30
5.1	ELABORAÇÃO DAS RECOMENDAÇÕES NORMATIVAS	30
5.1.1	Recomendações normativas de sistemas prediais de esgoto sanitário	32
5.1.2	Recomendações normativas de sistemas prediais de água fria	39
5.1.3	Recomendações normativas de sistemas prediais de água quente	43
5.2	RESUMO DAS VERIFICAÇÕES	46
6	DESENVOLVIMENTO DAS REGRAS DE VERIFICAÇÃO	49
6.1	MODELO IFC	49
6.2	SOFTWARE DE VERIFICAÇÃO	51
6.2.1	Solibri Model Checker (SMC)	51
6.2.2	Funcionamento dos programas computacionais de verificação	60

6.3	CLASSIFICAÇÃO E ELABORAÇÃO DAS REGRAS DE VERIFICAÇÃO.	61
6.3.1	Classe 1 – Regras que requerem um ou alguns dados específicos.	61
6.3.2	Classe 2 – Regras que requerem um valor derivado simples. .	68
6.3.3	Classe 3 – Regras que requerem uma estrutura de dados complexa.	72
6.3.4	Classe 4 – Regras que requerem uma “prova de solução” . . .	99
6.4	RESUMO DAS REGRAS DAS VERIFICAÇÕES DE RECOMENDAÇÕES.	101
7	ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.	103
8	CONSIDERAÇÕES FINAIS.	106
8.1	CONCLUSÕES	107
8.2	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.	108
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.	

1 INTRODUÇÃO

A cadeia produtiva da construção civil é caracterizada como uma indústria fragmentada com dispersão de dados e heterogeneidade dos agentes participantes. O projeto influencia direta e indiretamente o desempenho de uma edificação em seu uso. Este fato tem propiciado uma crescente exigência com relação à qualidade dos projetos, assim como a produtividade dos processos, o que acarreta na necessidade de alterar o atual processo de execução de projetos.

Segundo Franco (1992), a fase de projeto pode ser considerada como a fase na qual as decisões tomadas “trazem maior repercussão nos custos, velocidade e qualidade dos empreendimentos”, além de ser a origem da maioria dos problemas patológicos das edificações.

Em geral, cada subsistema de um edifício é projetado por um profissional diferente, devido à complexidade das atuais edificações. Frequentemente, o coordenador de projetos tem como desafio a compatibilização das diversas disciplinas do projeto, pois surgem inúmeros conflitos devido à falta de cooperação entre os envolvidos no trabalho. Há a necessidade de um fluxo contínuo de troca de informações e interdependência entre os envolvidos no processo, ficando clara a necessidade de integração entre os mesmos, e da gerência adequada das informações minimizando a possibilidade de erros, retrabalhos, ineficiência e defeitos (RUSCHEL *et al.*, 2013).

A aplicação de tecnologias de informação e comunicação está presente em diversos setores da economia e o setor da construção civil não poderia deixar de implantá-las. Apesar de já estarem sendo utilizadas no setor da construção, a grande questão é explorá-las com foco na melhoria do processo como um todo. A falta de utilização de tecnologias de informação que automatizem o processo é apontada como um dos entraves do setor da construção com relação à automação e integração de seus processos, necessitando o surgimento de iniciativas na área.

Neste cenário, surgiu a Modelagem da Informação da Construção ou simplesmente BIM (*Building Information Modeling*) como uma forma de alterar os processos ligados

à construção civil, aproveitando-se de ferramentas computacionais para gerenciar adequadamente as informações da construção. O BIM faz uso de modelos tridimensionais com informações integradas sobre o ciclo de vida da edificação.

De acordo com Eastman (2008), o BIM pode ser conceituado como “uma tecnologia de modelagem e um conjunto de processos para produzir, comunicar e analisar modelos de construção”, ou seja, é um processo que utiliza os princípios de automação e de integração. Ou de acordo com Santos (2013), o BIM é “[...] um processo integrado para explorar colaborativamente as características físicas e funcionais de uma construção, em formato digital. Envolve a criação, uso e atualização de um modelo de informação durante todo o ciclo de vida da construção”.

Assim, o modelo BIM pode atuar, na etapa de projeto, como um fator fundamental para a interligação dos diversos subsistemas de uma edificação, pois engloba todo o ciclo de vida da construção por meio de sua modelagem integrada com toda a informação necessária para sua validação e execução.

A implementação de novos processos pode ser uma tarefa difícil e envolve todos os profissionais dentro de um projeto, mas a mudança é justificável, pois seus benefícios são observados no processo todo, ou seja, em todo seu ciclo de vida, há melhorias principalmente na produtividade e em questões de engenharia do processo.

Com relação à elaboração de um projeto, toda construção deve ter seu projeto e execução em conformidade com as normas técnicas vigentes em seu país. A verificação do atendimento da norma técnica no projeto é uma ferramenta que pode ser utilizada para gerar mudanças no setor, pois é uma forma de garantir minimamente a qualidade e desempenho dos projetos. Para atender às normas técnicas, é necessário verificar inúmeros elementos, suas propriedades e a relação entre eles. Atualmente, esta verificação é realizada manualmente para normas específicas como, por exemplo, de sistemas prediais hidráulicos.

Para explorar todo o potencial que o BIM pode oferecer é necessário que o modelo contenha todas as informações para realizar as verificações. Além dessas informações, para automatizar e integrar os fluxos de trabalho, as normas técnicas devem estar incorporadas às ferramentas computacionais.

Devido aos diferentes profissionais envolvidos no desenvolvimento de um projeto, as informações também estão em formatos distintos um em relação ao outro. Por isso, é necessário garantir que haja fluidez dos fluxos de informações do projeto e a interoperabilidade entre as diferentes disciplinas de projeto. Busca-se obter esta compatibilidade por meio do IFC (*Industry Foundation Classes*), que surgiu como o formato público e universal que representa uma das maneiras mais eficazes e conhecidas de interoperabilidade no BIM (buildingSMART, 2014).

Neste contexto, surge a necessidade de estudos mais aprofundados com relação a este tema. Um exemplo é a criação de regras computacionais a partir de normas técnicas e de boas práticas de projeto e do desempenho e adaptabilidade destas regras nos projetos de forma que a sua verificação e a compatibilização dos diversos projetos de subsistemas do edifício fique mais simplificada e automatizada. Neste sentido, o BIM pode auxiliar neste processo. Apesar da existência de alguns softwares, como o Solibri (SOLIBRI, 2014) para verificação automática de regras gerais, como a detecção de interferências físicas entre as disciplinas de projeto, no Brasil não há uma maneira que possibilite a verificação automática apropriada dos sistemas prediais hidráulicos sanitários, mostrando assim o potencial desta pesquisa.

Assim, esta pesquisa apresenta regras de verificação e validação de modelos BIM para sistemas prediais de água fria, de água quente e de esgoto sanitário com base nas normas técnicas da ABNT, de modo a facilitar o trabalho de coordenados de projetos.

2 OBJETIVOS

O objetivo geral deste projeto é desenvolver regras de verificação e de validação de modelos BIM para sistemas prediais de água fria, de água quente e de esgoto sanitário com base nas normas técnicas da ABNT.

Os objetivos específicos são:

- levantar critérios de projeto que devem ser verificados, em trabalho realizado por coordenadores de projetos, para atender três normas de sistemas prediais;
- propor uma classificação desses critérios segundo tipos de análise: numérica e funcional;
- extrair as informações do modelo de dados IFC (*Industry Foundation Classes*);
- desenvolver as regras de verificação e de validação referentes às normas brasileiras para verificação automática do projeto de sistemas prediais.

3 O SETOR DA CONSTRUÇÃO E O BIM

Os avanços tecnológicos das tecnologias de informação têm propiciado mudanças ao setor da construção, apesar de haver grande atraso tecnológico em relação a outras indústrias. De acordo com Martins e Monteiro (2011), o BIM “representa uma nova abordagem à gestão da informação da construção”.

Neste capítulo são apresentados o processo de execução de projetos e como o BIM pode interferir no mesmo. Em seguida, o IFC e seu funcionamento e, finalmente, são apresentados os sistemas prediais hidráulicos e sanitários escolhidos para o desenvolvimento desta pesquisa.

3.1 O PROCESSO DE EXECUÇÃO DE PROJETOS E O BUILDING INFORMATION MODELLING (BIM)

O processo construtivo é composto por um conjunto de atividades necessárias para o planejamento e concepção do projeto, execução (construção), utilização e manutenção de um empreendimento, podendo chegar até sua fase de demolição. Ele pode ser representado como o ciclo de vida útil da edificação, em que as etapas são associadas, sequenciais e contínuas (OLIVEIRA, 1999).

Em geral, este processo apresenta informações desordenadas sem qualquer tipo de estrutura ou de classificação, o que normalmente ocasiona em muitos problemas entre as partes envolvidas (AOUD *et al.*, 1994). A troca constante de fornecedores e de prestadores de serviços e as relações dinâmicas entre os agentes e seus diferentes interesses acabam tornando difícil a flexibilização do processo e tendem a aumentar a dificuldade na troca de informações.

O processo construtivo gera uma enorme quantidade de informação até mesmo em empreendimentos relativamente simples. A elaboração dos projetos deve ter o acompanhamento constante de um coordenador ou de uma equipe de coordenação de projetos, que por meio de reuniões entre os integrantes da equipe de projetos contribui para a compatibilização dos subsistemas de uma edificação. Assim, além

de um coordenador de projetos, há a necessidade de um coordenador BIM que tem suas próprias tarefas na elaboração de um projeto.

Na Figura 3.1 estão ilustradas as tarefas do coordenador de projetos e do coordenador BIM na estrutura de elaboração de projetos utilizando-se o BIM, além de sua equipe e funções.

Figura 3.1 – Tarefas do coordenador de projetos e do coordenador BIM

Fonte: AsBEA (2013)

O conceito do BIM surgiu no final da década de 1970 através das teorias desenvolvidas por Charles M. Eastman sobre a modelagem de dados de produtos da construção (EASTMAN, 2008; MONTEIRO; MARTINS, 2011). O BIM não pode ser entendido simplesmente como uma ferramenta; seu conceito está além disto. É comumente visto como uma abordagem da próxima geração no que relaciona o projeto da construção e o gerenciamento de informações, pois abrange todo o ciclo de vida da construção de modo que todas as informações sejam integradas (MONTEIRO; MARTINS, 2013).

O BIM tem sido tema frequentemente comentado na indústria da arquitetura, engenharia e construção. Ele é um dos maiores e mais promissores desenvolvimentos em arquitetura, engenharia e construção; e representa uma nova geração de ferramentas, que inicia um novo caminho a ser explorado em direção a colaboração, interoperabilidade e reutilização da informação.

Sua principal função é facilitar o processo de projeto e construção por meio de sua integração, pois, atualmente, o processo de produção de uma construção é fragmentado e tem muita perda e confusão de informações pela falta de comunicação entre as partes, acarretando em problemas de projeto, atrasos, gastos financeiros e atritos.

O BIM, muitas vezes, é visto simplesmente como representações tridimensionais de produtos da construção, mas vai muito além. Ele tem mudado o modo como as edificações são vistas, como são projetadas e como elas funcionam, pois faz uso de tecnologias da informação e comunicação para a criação e gerenciamento de um empreendimento por todo seu ciclo de vida através de um processo coordenado e colaborativo.

De acordo com a Associação Brasileira dos Escritórios de Arquitetura - AsBEA os principais usos do BIM na elaboração de projetos são (AsBEA, 2013):

- concepção de projeto;
- documentação de projeto;
- visualização de projeto;
- compatibilização de projetos;
- revisão de projeto;
- análise de eficiência energética;
- avaliação de critérios de sustentabilidade;
- análises de engenharia; e
- extração de quantitativos.

Após a finalização dos projetos, o modelo consolidado é utilizado nas etapas seguintes, percorrendo todo ciclo da cadeia de produção de uma edificação.

Devido a essas características, o BIM surge como um facilitador para o coordenador de projetos, ajudando a compatibilizar os projetos das diversas disciplinas e a resolver os diversos conflitos presentes nos modelos (EASTMAN *et al.*, 2008).

Deste modo, o coordenador de projeto usa uma ferramenta computacional para integrar os diversos sistemas que compõe o edifício. Esses sistemas são modelados por profissionais diferentes, que usam softwares distintos. Neste ambiente virtual de integração, é possível visualizar interferências geométricas e submeter o modelo a um conjunto de regras para verificar a adequação do modelo a uma série de requisitos que são recomendados por normas técnicas, regulamentos ou que são boas práticas na indústria da construção. Para domínios específicos, como sistemas prediais, é necessário desenvolver um conjunto de regras que correspondam às recomendações das normas técnicas, para que o modelo possa ser verificado automaticamente.

Há pesquisas relacionadas à automatização da verificação de regras de diversos subsistemas de uma edificação. Zhang *et al.*(2013), Inhan *et al.* (2013) e Dimyadi *et al.* (2008) desenvolveram pesquisas de verificações de regras para projetos de combate a incêndio, enquanto Wu *et al.* (2004) e Lee (2010) desenvolveram pesquisas referentes a verificação de acessibilidade e circulação. Todas estas pesquisas utilizaram o BIM para a automatização de regras, mostrando que há diversas pesquisas relacionadas ao tema.

No entanto, com relação a sistemas prediais hidráulicos e sanitários, as pesquisas encontradas foram de Monteiro (2010) e Martins (2009). Segundo Costa *et al.* (2014), não há muitas publicações específicas sobre sistemas prediais hidráulicos e sanitários no BIM nas bases de dados internacionais e nacionais,

Enfim, todos fatores apresentados indicam a necessidade de desenvolvimento de pesquisas nesse tema, tendo em vista os benefícios que o BIM proporciona na execução de um projeto.

3.2 INDUSTRY FOUNDATION CLASSES (IFC)

No setor da construção a informação tende a se tornar cada vez mais complexa e abundante. Cada profissional usa um software diferente e é responsável por um sistema específico. É preciso considerar a necessidade de uma interface que possa compatibilizar todas estas informações pela interoperabilidade destas ferramentas,

não basta somente que o modelo exista, mas que ele atenda as exigências reais do setor. Para contornar tal problema, foi criado o modelo *Industry Foundation Classes* (IFC) (MARTINS, 2009). Interoperabilidade pode ser entendida como a capacidade de diferentes programas comunicarem-se pela troca, utilização e edição de informações entre si.

Buscando apoiar o desenvolvimento de um programa que pudesse resolver o problema de interoperabilidade, a Autodesk criou um consórcio em 1994 para o desenvolvimento de um conjunto de classes em C++. Este consórcio foi chamado de *Industry Alliance for Interoperability*. Em 1995 o consórcio foi aberto para outros membros e em 1997 seu nome foi alterado para *International Alliance for Interoperability* (IAI). Esta aliança foi reconstituída para uma organização não governamental internacional sem fins lucrativos com o objetivo de fazer com que o IFC se torne uma base neutra de modelagem de uma edificação.

O modelo IFC é dedicado somente ao setor da construção. Ele foi criado com base na ISO-STEP (**S**tandard for **E**xchange of **P**roduct Model Data), na linguagem EXPRESS. Em 2005, o nome da organização foi alterado para buildingSMART, visto que o nome antigo era longo e complexo (EASTMAN *et al.*, 2008).

O IFC tem como diretriz de modelagem a orientação a objeto. Os objetos BIM são compostos por atributos, possuem propriedades e apresentam relações entre si. Eles têm a capacidade de receber, interligar, transmitir e suportar conjuntos de atributos, além de poderem ser definidos em diferentes níveis de agregação.

Os objetos BIM podem ter uma ou mais representações geométricas e paramétricas associadas. A modelagem paramétrica de objetos é uma poderosa forma de criar e editar a geometria. Regras paramétricas para objetos podem modificar automaticamente geometrias que estão associadas, quando colocadas em um projeto ou quando mudanças são feitas em objetos associados (EASTMAN *et al.*, 2008).

O modelo em IFC segue uma hierarquia típica em modelos orientados por objetos, no qual as classes de níveis inferiores herdam as propriedades das classes de nível

superior na hierarquia. Desta forma, quando há uma mudança nas classes de nível superior, a estrutura das classes de níveis inferiores também é modificada.

Segundo EASTMAN *et al.* (2008), no IFC, os objetos utilizados em intercâmbios estão na estrutura de uma árvore. Por exemplo, uma entidade *Parede (Wall)* tem o seguinte percurso na árvore:

IfcRoot -> IfcObjectDefinition -> IfcProduct -> IfcElement -> IfcBuildingElement -> IfcWall

Em cada nível da árvore são introduzidos diferentes atributos e relações à entidade *Parede (Wall)*:

- *IfcRoot* introduz o *GlobalID*, que é um identificador global, e outras informações de identificação;
- *IfcObject* representa os itens intangíveis e também incorpora processos. No IFC quase todos os objetos estão dentro de uma hierarquia de composição (*IfcObjectDefinition*), ou seja, eles são parte de uma composição e também têm seus próprios componentes;
- *IfcProduct* introduz a localização da parede e sua forma;
- *IfcElement* introduz os relacionamentos desse elemento com outros como, por exemplo, parede fronteiriças e espaços que a parede separa; e também introduz informações de qualquer abertura dentro da parede e seus preenchimentos por portas e janelas.

No IFC, os elementos e seus relacionamentos são dissociados e permite que propriedades sejam armazenadas nos relacionamentos, o que pode se tornar uma característica poderosa, porém também dificulta o entendimento de como alguns elementos específicos estão unidos. Por exemplo, para entender a relação entre uma porta (*Door*) e uma parede (*Wall*), é necessário entender que os dois elementos herdam da estrutura *IfcElement*, pois apesar de estar dispersa, a informação de relações no IFC está presente na forma de entidades que “personificam” a relação e agregam os objetos. Um *IfcElement* pode ser ligado a um *IfcFeatureElementSubtraction* através de um *IfcRelVoidsElement*. Um *IfcOpening* é

do tipo *IfcFeatureElementSubtraction*, e pode ser ligado a outro *IfcElement*, como por exemplo uma porta, através de um *IfcRelFillsElement* (DELFOSSE, 2012).

Os conjuntos de propriedades (*property sets*) são muito importantes, pois são elas que permitem definir as informações que cada elemento em um modelo. Um modelo completo de um projeto tem a necessidade de agregar informações e definir objetos com informações específicas dos mesmos estabelecendo um conjunto de parâmetros que compõe cada objeto.

No IFC não há conjuntos de propriedades para os materiais, pois cada material tem suas características de acordo com as especificações do fabricante. Todas as funções relacionadas a materiais são definidas pelo *IfcMaterialDefinition*.

O IFC vem se tornando cada vez mais desenvolvido e estável de modo que aumentaram o número de soluções de softwares de interface compatíveis com IFC. Por isso, ele tornou-se um dos modelos mais amplamente implementados de padrão internacional.

O IFC está em constante desenvolvimento, sempre buscando a compatibilização entre os diferentes softwares no mercado. Atualmente se encontra na versão 4 lançada em março de 2013. Esta versão é a base para as próximas soluções do IFC e ela incorpora inúmeras melhorias e aperfeiçoamentos sobre o lançamento IFC2x3, que era a versão vigente até a data de lançamento do IFC4 (IAI, 1996 - 2014). Desde 2013 a norma oficial internacional do IFC é a ISO 16739:2013 (buildingSMART, 2014). Na Figura 3.2 pode-se verificar o lançamento de versões do IFC em uma linha do tempo.

Figura 3.2 – Lançamento de versões do IFC

Fonte: IAI (1996 – 2014)

É possível transformar os modelos proprietários de cada subsistema, inclusive os de sistemas prediais, em modelos IFC, e criar regras que façam referência apenas aos objetos, parâmetros e relação desta modelagem particular de dados da construção, para obter uma verificação automatizada do projeto.

A colaboração dos diversos subsistemas de projeto numa única base de dados interligada permite trabalhar simultaneamente em várias frentes, resultando em maior e melhor compatibilização entre os subsistemas, reduzindo, assim, erros e omissões.

3.3 SOLIBRI MODEL CHECKER

A principal proposta do Solibri Model Checker (SMC) é indicar potenciais problemas e conflitos na modelagem do projeto de uma edificação, melhorando a qualidade do modelo BIM e das informações nele contidas. O SMC é um software finlandês e é atualmente vendido em mais de 70 países.

O SMC utiliza modelos BIM salvos em formato IFC para analisar potenciais problemas, conflitos ou violação de designs e não aceita outros formatos de arquivos nativos de softwares BIM como Revit, ArchiCAD ou VectorWorks. Para realizar estas tarefas é necessário que o programa seja capaz de interpretar, analisar e apontar os erros encontrados. Além disso, o SMC tem diversas outras funcionalidades tais como (AECBYTES, 2009):

- juntar diversos modelos e salvar em um único arquivo compactado;

- detectar conflitos com base em regras, e, não somente, em geometria como o NavisWorks executa;
- possibilitar a visualização de modelos e de “andar” pelo modelo;
- comparar duas versões de um modelo e ver as diferenças;
- gerar quantitativos; e
- elaborar relatórios e compartilhar resultados do modelo de verificação com outros programas.

As funcionalidades propostas pelo SMC são significativamente mais rápidas e confiáveis em comparação com os métodos tradicionais de verificação, que são normalmente realizadas de forma manual (SOLIBRI. 2014).

Com relação à verificação de regras, para utilização de conjuntos de regras (*Rulesets*) é necessário escolher primeiramente uma função (*Role*), que é um conjunto de recursos (*Rulesets*, *Classifications* e *Information takeoff*) agrupados por um propósito, conforme é possível observar na Figura 3.3.

Após a definição dos recursos no Gerenciador de conjunto de regras (*Ruleset Manager*) é possível criar novas regras através da junção e escolha de regras existentes no programa. Para regras não existentes, a empresa criadora do software se compromete a criar novas regras personalizadas por meio de consultoria, mas que requerem tempo, pesquisas e interesse de ambas as partes.

Figura 3.3 – Conjuntos de regras (*Rulesets*) e suas regras (*Rules*)

Fonte: acervo do autor (2015)

Para iniciar o processo de verificação de regras no SMC, basta clicar no botão de verificação e, assim, é executado o conjunto de regras (*Ruleset*) escolhido. Como resultado da verificação os resultados são apresentados em forma de tabela. Selecionando um item da verificação o modelo em 3D é direcionado para o objeto/local ao qual se refere e são apontados os erros da verificação. Através da análise de cada regra é possível que o usuário aceite ou rejeite o resultado da verificação, podendo também adicionar comentários e anotações, além de poder atribuir também responsabilidades. Ao final da análise é possível gerar um relatório onde é detalhada toda esta análise feita pelo usuário. A análise não fica limitada às verificações automáticas, pois é possível também destacar outros pontos no relatório. Os formatos possíveis de exportação deste relatório são nos formatos xls, pdf e rtf (CORKE, 2013).

Com o relatório é possível identificar os problemas ocorridos no modelo e corrigi-los. Para isso, é necessário utilizar o software BIM que originou o modelo e não no SMC. Esta correção deve ser realizada pelo autor de cada disciplina de projeto, devido principalmente à sua responsabilidade na indústria com relação ao projeto.

3.4 SISTEMAS PREDIAIS

Os sistemas prediais são sistemas físicos, integrados a um empreendimento, e que têm por finalidade dar suporte às atividades dos usuários, suprindo-os com os insumos prediais necessários e propiciando os serviços requeridos (PCC-2465, 2014). Estes sistemas estão em constante uso e operação e tem interface com diversos outros sistemas e subsistemas do edifício.

Nos últimos anos os sistemas prediais tiveram diversos avanços tecnológicos que merecem destaque, principalmente quanto a novos materiais, componentes, sistemas, e processos de execução. Portanto, há a necessidade de avanço também no modo como os projetos são desenvolvidos. Neste trabalho são apresentadas regras de verificação para os sistemas de água fria, água quente e esgoto sanitário.

3.4.1 Sistema predial de água fria

O sistema de água fria é composto pelos seguintes subsistemas: alimentação, reservação e distribuição (PCC-2465, 2014).

O sistema predial de suprimento de água deve prover, quando necessária ao uso, água de boa qualidade, em quantidade e temperatura controláveis pelo usuário, para a sua adequada utilização (PCC-2465, 2014). Portanto, ele está diretamente ligado à saúde e higiene e, conseqüentemente, afeta todas as funções humanas relacionadas ao uso da água deste sistema. O abastecimento do sistema predial de água fria é feito através de rede pública ou de fonte particular.

A NBR 5626 (ABNT, 1998) estabelece as exigências e recomendações com relação ao projeto, execução e manutenção da instalação predial de água fria, principalmente com respeito aos princípios de bom desempenho e garantia da qualidade da água; mais especificamente, nela são descritas as exigências e recomendações sobre os materiais a serem utilizados nas instalações, parâmetros de projeto e também discorre a respeito de execução e manutenção do sistema.

A seguir é apresentado o conceito do componente utilizado nas recomendações normativas para o sistema predial de água fria:

- Registro de gaveta

A função do registro de gaveta é interromper o escoamento de água em uma instalação e não regular a vazão. Ele trabalha de maneira totalmente aberta ou totalmente fechada.

3.4.2 Sistema predial de água quente

O sistema predial de água quente é responsável pelo fornecimento de água aquecida, ou seja, com águas a temperaturas de uso chegando a até 70°C, no reservatório ou geradora de água quente. De acordo com a NBR 7198 (ABNT, 1993), o sistema predial de água quente tem os seguintes objetivos:

- garantir o fornecimento de água quente de forma contínua, em temperaturas controláveis, quantidade suficiente, garantir a segurança dos usuários e que o sistema funcione com pressões e velocidades compatíveis com o perfeito funcionamento dos equipamentos que fazem parte do sistema;
- preservar a potabilidade da água;
- proporcionar o nível de conforto adequado aos usuários;
- racionalizar o consumo de energia.

Esta norma é resumida, apresenta somente terminologias e objetivos do sistema, o que dificulta a elaboração de regras de verificação deste sistema. Porém, tanto esta norma quanto a norma relativa à água fria estão em processo de revisão.

A seguir são apresentados os conceitos dos componentes utilizados nas recomendações normativas para o sistema predial de água quente:

- Respiro

O respiro tem como função evitar o aumento de pressão de vapor no caso da ocorrência de um superaquecimento. O respiro é a tubulação que é instalada imediatamente na saída de água quente do aquecedor de acumulação e é destinada a permitir a saída de ar ou vapor de um ponto propício para a sua segregação num sistema predial de água fria ou quente (ABNT, 2015).

- Sifão térmico

O sifão térmico dificulta o retorno de água quente para o ramal de entrada de água fria no aquecedor de acumulação, facilitando a abertura da válvula de alívio e pressão.

- Válvula de alívio e pressão

A função da válvula de alívio e pressão é expulsar o vapor d'água quando ocorrer um superaquecimento.

3.4.3 Sistema predial de esgoto sanitário

O sistema predial de esgoto sanitário deve coletar e transportar o esgoto sanitário. A NBR 8160 (ABNT, 1999) recomenda que o sistema predial de esgoto sanitário deve ser projetado de modo a:

- evitar a contaminação da água garantindo sua qualidade;
- permitir o rápido escoamento das águas utilizadas e despejos sanitários;
- impedir a saída de gases para o interior de áreas de utilização;
- impedir que corpos estranhos entrem no sistema;
- permitir o fácil acesso aos componentes do sistema para inspeção;
- impossibilitar o acesso de esgoto ao subsistema de ventilação; e
- permitir a fixação dos aparelhos sanitários somente por dispositivos que facilitem a sua remoção para possíveis manutenções.

Segundo Amorim (1997), o sistema de esgoto sanitário é composto pelos subsistemas:

- coleta, que é composto pelos aparelhos sanitários do sistema;
- transporte, que é composto pelas tubulações e acessórios responsáveis para captar o esgoto sanitário e conduzi-lo até seu destino;
- ventilação, que é composto pelas tubulações que garantem a integridade dos fechos hídricos, impedindo a passagem de gases para o ambiente e conduzindo-os para a atmosfera; e
- disposição, que é responsável pela disposição final dos resíduos do sistema.

Os sistemas prediais de esgotos sanitários no Brasil são do tipo separador absoluto, ou seja, o sistema recebe somente esgoto sanitário e o sistema de águas pluviais tem um sistema específico para coleta e transporte de águas pluviais (NBR 8160, ABNT, 1999).

A seguir são apresentados os conceitos dos componentes utilizados nas recomendações normativas para o sistema predial de esgoto sanitário:

- Tubos de ventilação

Tubo ventilador é compreendido pela tubulação ascendente que permite o acesso do ar atmosférico na rede de esgotos, a saída de gases das tubulações e impede a ruptura do fecho hídrico dos desconectores.

A tubulação de ventilação tem como função aliviar as pressões no interior do sistema e, assim, evitar o rompimento dos fechos hídricos dos desconectores. Além disso, propicia a saída de gases do esgoto para a atmosfera.

- Desconectores

Desconectores são os componentes providos de fecho hídrico, e que têm por objetivo impedir o retorno de gases do esgoto para o interior dos ambientes como, por exemplo: caixas sifonadas, sifões. O fecho hídrico é a camada de água que permanece constantemente nos desconectores e que veda a passagem dos gases.

3.5 NORMALIZAÇÃO TÉCNICA NO BRASIL E SUA AUTOMATIZAÇÃO

Segundo Souza (1994), na busca pela qualidade e excelência de produtos, projetos, processos e sistemas, há a necessidade de normalização dos mesmos, pois sem ela não há controles e garantias ao almejar essas características. Conforme ilustrado na Figura 3.4, a normalização pode ocorrer em diversos níveis: regional, nacional, internacional, empresarial e de associações.

Figura 3.4 – Níveis de normalização

Fonte: ABNT (2014)

A ABNT é desde 1940 reconhecida como o Foro Nacional de Normalização. Ela é uma entidade privada e sem fins lucrativos e é membro fundador da *International Organization for Standardization* (Organização Internacional de Normalização - ISO). Sua função é ser responsável pela publicação das Normas Brasileiras (ABNT, 2014). Devido à sua abrangência nacional e ser mais restritiva que normas internacionais e regionais, optou-se pela utilização das normas da ABNT para a elaboração das regras verificadas nesta pesquisa.

De acordo com ABNT (2014):

“A normalização é, assim, o processo de formulação e aplicação de regras para a solução ou prevenção de problemas, com a cooperação de todos os interessados, e, em particular, para a promoção da economia global. No estabelecimento dessas regras recorre-se à tecnologia como o instrumento para estabelecer, de forma objetiva e neutra, as condições que possibilitem que o produto, projeto, processo, sistema, pessoa, bem ou serviço atendam às finalidades a que se destinam, sem se esquecer dos aspectos de segurança.”

A normalização reduz possíveis aspectos incorretos em projetos. Porém, um projeto que atenda todas as normas não significa que não tenha problemas, o atendimento à norma é uma forma de controlá-los até certo aspecto e assegurar algumas características desejáveis aos projetos. E devido ao rápido avanço das tecnologias, há a necessidade de mudanças frequentes nas mesmas para adequação ao cenário atual.

Observa-se uma crescente preocupação com a qualidade do projeto, o que faz com que aumente a importância do atendimento do projeto às normas brasileiras e,

consequentemente, aumente a importância pela automatização deste processo. A normalização é um mecanismo para estabelecer padronização e maior garantia de produtos e serviços.

A automatização do processo aumenta o nível de exigência de um projeto e acaba garantindo uma maior confiabilidade do próprio projetista com relação ao seu projeto, pois a verificação manual é sujeita a diversos erros. Além disso, a automatização deste processo reduz o tempo dispensado anteriormente para a realização da verificação manual.

Porém, deve-se atentar ao fato de que não basta somente realizar a automatização sem entender o projeto. Todos os erros apontados por ferramentas automatizadas devem ser analisados caso a caso e entendidos antes de serem alterados. E o processo de elaboração de projetos deve sofrer ajustes para sistematizá-lo de forma adequada. Nesta nova forma de trabalho o projeto é um modelo de informação e estas informações devem ser interpretadas antes de qualquer alteração. O processo de automatização não é garantia de um projeto totalmente correto, não podendo dispensar uma análise analítica do projeto por conta de cada projetista. A automatização é uma ferramenta facilitadora e agilizadora do processo.

4 MÉTODO DE PESQUISA

As etapas desta pesquisa estão apresentadas no fluxograma da Figura 4.1. Inicialmente, foi analisada a situação do setor da construção civil com relação ao processo de execução de projetos. Em seguida, foram levantados os problemas do setor e, com isso, foi definido o objetivo da pesquisa.

Figura 4.1 – Fluxograma da metodologia de pesquisa

Fonte: elaborado pelo autor (2015)

Para a obtenção dos resultados esperados e apresentação de respostas ao questionamento a que foi proposto este trabalho, o processo de verificação de regras é realizado por meio das seguintes etapas:

- levantamento de critérios das normas técnicas brasileiras e boas práticas;
- desenvolvimento das regras de verificação através do SMC; as informações necessárias para a execução das regras são extraídas do modelo BIM, que está no formato *Industry Foundation Classes* (IFC); e
- execução das regras: o software executa cada uma das regras pertinentes ao conteúdo do modelo e tem como resultado a conformidade ou não dos diversos elementos do modelo com relação à norma através de testes com diferentes modelos.

Foram utilizadas a NBR 5626 (ABNT, 1998), que se refere à norma para instalação predial de água fria, a NBR 7198 (ABNT, 1993), referente à instalação predial de água quente e, por fim, a NBR 8160 (1999), referente à instalação predial de esgoto sanitário, para a criação de regras. Com estas as normas técnicas escolhidas é possível verificar quais aspectos das mesmas podem ser verificadas no software.

Considerando-se que muitos aspectos de projeto não estão explícitos nas normas técnicas existentes, foram realizadas também pesquisas de campo, por meio de entrevistas, com diversos engenheiros projetistas de escritórios de projetos especializados em sistemas prediais.

A entrevista é uma maneira de obtenção de dados que não são encontrados em documentos e registros. Na entrevista foi abordado o tema sobre quais verificações são realizadas nos projetos de sistemas prediais em estudo de modo que garantam que o projeto atenda às necessidades e aos requisitos de desempenho dos usuários, em geral, estabelecidos por meio de critérios, pelas normas técnicas ou das boas práticas dos projetistas do projeto.

Os dados dos modelos BIM são importados no formato IFC. Os dados referentes aos sistemas prediais são obtidos por meio do modelo já em formato IFC, facilitando a compatibilização dos diferentes softwares disponíveis no mercado, como por

exemplo, Autodesk Revit, Archicad e Vectorworks. Para analisar a aplicabilidade das verificações, são feitos testes com modelos em IFC.

As regras são criadas utilizando o software Solibri Model Checker da empresa finlandesa Solibri Inc., identificando o limite de sua trabalhabilidade.

Por meio da criação das regras de verificação, tendo como base as normas técnicas e informações de projetistas da área, é possível descobrir a sua adaptabilidade com relação à parametrização na criação de regras e verificar as suas limitações na elaboração das mesmas. E, por fim, propor o que poderia ser feito em ferramentas opcionais fora do SMC para auxiliar a verificação automática das regras propostas.

5 RECOMENDAÇÕES NORMATIVAS A SEREM VERIFICADAS EM PROJETO DE SISTEMAS PREDIAIS

Neste capítulo são apresentadas as recomendações de projetos de sistemas prediais hidráulicas e sanitárias. As recomendações têm como base as normas técnicas NBR 5626 (ABNT, 1998), NBR 7198 (ABNT, 1993) e NBR 8160 (1999) e as boas práticas de projeto, levantadas por meio de entrevista com projetistas da área.

As normas estão suscetíveis a diferentes interpretações, o que impõe um limite na elaboração das recomendações normativas e também em sua tradução para regras computacionais.

Desta forma, estas recomendações abrangem itens relacionados às boas práticas de projeto e não incluem a análise de cálculos hidráulicos do projeto. As boas práticas são, em geral, compostas de verificação de erros comuns de se acontecer ao se projetar as redes, ou seja, erros decorrentes do pouco conhecimento das normas técnicas ou de distrações do projetista, porém podem ocasionar diversos problemas ao funcionamento dos sistemas e consequentemente ao usuário como, por exemplo, afetar a qualidade da água e interromper o abastecimento de água ao usuário.

5.1 RECOMENDAÇÕES NORMATIVAS

São apresentadas quinze recomendações elaboradas referentes ao sistema predial de esgoto sanitário, nove relativas ao sistema predial de água fria e três referentes ao sistema predial de água quente.

As normas NBR 5626 (ABNT, 1998) e a NBR 7198 (ABNT, 1993) estão em processo de revisão, portanto algumas recomendações normativas têm como base o projeto de norma ABNT/CB-02 PROJETO 02:146.03-003/1 (ABNT, 2015), que virá a substituir ambas as normas.

Devido à pouca informação que a NBR 7198 (ABNT, 1993) fornece, as verificações quanto ao cumprimento dos requisitos com relação aos sistemas prediais de água

quente são limitadas. Como apresentado no item 3.4.2, a NBR 7198 (ABNT, 1993) é resumida, apresentando somente terminologias e objetivos do sistema, o que dificulta o trabalho de verificações de critérios deste sistema.

Muitas das recomendações normativas são amplas e vagas e cabe ao projetista ter bom senso para executar o melhor projeto nas condições de cada edificação. Portanto, chegou-se a uma quantidade pequena de verificações a se realizar com relação aos sistemas prediais de água quente em comparação a outros sistemas hidráulicos. E mesmo nas normas de sistemas prediais de água fria e de esgoto sanitário, há diversas recomendações de projeto que são abstratas, que podem gerar diferentes interpretações e não são possíveis de serem analisadas por um computador, pois dependem muito mais da percepção e análise do profissional.

Não é realizada a verificação dos cálculos de dimensionamento nesta pesquisa por diversos motivos. Um deles é que para o cálculo de vazões de água fria, há dois tipos de métodos. No caso de projetos de sistemas prediais de água fria a NBR 5626 (ABNT, 1998) apresenta o emprego de método determinístico para o cálculo das vazões de projeto, conhecido como método dos pesos relativos. Apesar de mencionar, em seu anexo, que a demanda simultânea pode ser estimada tanto pela aplicação da teoria das probabilidades, como a partir da experiência acumulada na observação de instalações similares. O método de pesos relativos se enquadra no segundo caso.

Este tipo de metodologia de cálculo faz uso de tabelas, gráficos e expressões matemáticas baseados na experiência acumulada da observação de sistemas similares. O outro método, que não é apresentado na NBR 5626, é o método probabilístico que utiliza expressões matemáticas formuladas através de conceitos probabilísticos, sendo o Método de Hunter um dos mais empregados (ILHA; OLIVEIRA; GONÇALVES, 2010).

Além disso, o intuito da verificação automatizada de projetos não é rever todos os cálculos hidráulicos dos projetos, que possuem outros programas que podem realizar estas verificações, mas verificar erros relacionados às boas práticas de projeto.

5.1.1 Recomendações normativas de sistemas prediais de esgoto sanitário

Neste item são apresentadas as recomendações normativas referentes aos sistemas prediais de esgoto sanitário.

Recomendação 1: Declividade mínima

De acordo com a NBR 8160 (ABNT, 1999) item 4.2.3.2:

4.2.3.2 Recomendam-se as seguintes declividades mínimas:

- a) 2% para tubulações com diâmetro nominal igual ou inferior a 75;
- b) 1% para tubulações com diâmetro nominal igual ou superior a 100.

As tubulações horizontais de esgoto sanitário de diâmetros maiores ou iguais a 100 mm devem ter declividade mínima de 1%, enquanto as tubulações de diâmetro igual ou inferior a 75 mm devem ter declividade mínima de 2%. Esta recomendação tem como dados de entrada as cotas (alturas) no eixo z e a distância no eixo x para cada trecho de tubulação conforme a eq. (1):

$$Declividade = \frac{Cota_1 - Cota_2}{Distância_x} \times 100 \quad (1)$$

O valor dessa declividade, calculada para cada trecho de tubulação horizontal, deve ser maior ou igual a 1% para tubulações de diâmetros iguais ou maiores que 100 mm e maior ou igual a 2%, para diâmetros iguais ou menores que 75 mm.

Recomendação 2: Declividade máxima de 5%

De acordo com a NBR 8160 (ABNT, 1999) item 4.2.5.2:

4.2.5.2 [...] A declividade máxima a ser considerada é de 5%.

Assim como é recomendada uma declividade mínima para as tubulações horizontais de esgoto, é recomendada uma declividade máxima para tubulações horizontais de esgoto, que não deve ultrapassar 5%.

Recomendação 3: Diâmetro a montante menor ou igual a de jusante nas tubulações

Para cada trecho de tubulação de esgoto, o diâmetro a montante da tubulação deve ser igual ou menor que o diâmetro da tubulação a jusante, exceto para o tubo de queda e coluna de ventilação, que devem ter diâmetro uniforme. Esta verificação deve ser feita para todos os trechos horizontais do sistema.

Os dados de entrada, nesta verificação, são os diâmetros dos trechos das tubulações comparando os diâmetros de dois trechos em sequência no sentido de montante para jusante.

Recomendação 4: Ramal de esgoto do piso térreo

De acordo com a NBR 8160 (1999) item 4.2.4.2:

4.2.4.2 Para os edifícios de dois ou mais andares, nos tubos de queda que recebam efluentes de aparelhos sanitários tais como pias, tanques, máquinas de lavar e outros similares, onde são utilizados detergentes que provoquem a formação de espuma, devem ser adotadas soluções no sentido de evitar o retorno de espuma para os ambientes sanitários...

Como uma boa prática, o ramal de esgoto do piso térreo deve ser ligado por uma tubulação independente diretamente à caixa de inspeção e não deve ser ligado a um tubo de queda, devido ao fato de caso ocorra entupimento, isso poderá acarretar em refluxo para os ralos do térreo.

Recomendação 5: Diâmetro do ramal de ventilação de esgoto menor ou igual ao ramal de esgoto ou de descarga

Como uma boa prática, o diâmetro da tubulação de ramal ventilação de esgoto deve ser menor ou igual ao do ramal de esgoto ou de descarga. Neste caso, os dados de entrada são os diâmetros da tubulação de ventilação e do ramal de esgoto e do ramal de descarga e assim, os diâmetros podem ser comparados para verificar se atendem esta recomendação.

Recomendação 6: Prolongamento do tubo de ventilação

De acordo com a NBR 8160 (ABNT, 1999) item 4.3.6:

4.3.6 A extremidade aberta de um tubo ventilador primário ou coluna de ventilação, conforme mostrado na figura 3:

a) não deve estar situada a menos de 4,00 m de qualquer janela, porta ou vão de ventilação, salvo se elevada pelo menos 1,00 m das vergas dos respectivos vãos;

b) deve situar-se a uma altura mínima igual a 2,00 m acima da cobertura, no caso de laje utilizada para outros fins além de cobertura; caso contrário, esta altura deve ser no mínimo igual a 0,30 m;

[...]

Deve-se verificar o prolongamento do tubo ventilador primário ou coluna de ventilação, pois sua extremidade aberta não deve estar a uma distância inferior a 4 metros de janelas, portas ou vãos e deve ter altura mínima de 2 metros acima da cobertura em lajes utilizadas para outros fins além de cobertura, caso contrário a altura mínima é de 0,3 metros.

Recomendação 7: Coluna de ventilação

De acordo com a NBR 8160 (ABNT, 1999) item 4.3.14:

4.3.14 Toda coluna de ventilação deve ter:

a) diâmetro uniforme;

b) a extremidade inferior ligada a um subcoletor ou a um tubo de queda, em ponto situado abaixo da ligação do primeiro ramal de esgoto ou de descarga, ou neste ramal de esgoto ou de descarga;

A recomendação 7 refere-se às colunas de ventilação. São dois itens a serem verificados referentes à coluna de ventilação:

- seu diâmetro uniforme;

- ligada a subcoletor ou tubo de queda em sua extremidade inferior;

Recomendação 8: Distância máxima de desconector ao tubo ventilador

De acordo com a NBR 8160 (1999) item 4.3.11:

4.3.11 [...] devendo-se prever a ligação de todos os desconectores a um elemento ventilado, respeitando-se as distâncias máximas indicadas na tabela 1.

Esta recomendação verifica a distância máxima de um desconector ao tubo ventilador, conforme valores da Tabela 5.1, que varia de acordo com o diâmetro nominal do ramal de descarga.

Tabela 5.1 – Distância máxima de um desconector ao tubo ventilador

Diâmetro nominal do ramal de descarga - DN (mm)	Distância máxima (m)
40	1,0
50	1,2
75	1,8
100	2,4

Fonte: NBR 8160 (ABNT, 1999)

Recomendação 9: Comprimento máximo do coletor predial

De acordo com a NBR 8160 (ABNT, 1999) item 4.2.6.2:

4.2.6.2 Caixas e dispositivos de inspeção

[...] b) a distância entre a ligação do coletor predial com o público e o dispositivo de inspeção mais próximo não deve ser superior a 15,00 m; e [...]

O coletor predial é a tubulação horizontal compreendida entre a última inserção do subcoletor e a rede pública coletora de esgoto ou o local de lançamento. O coletor predial não deve ter mais do que 15 metros de comprimento, para assim, facilitar possíveis manutenções. Caso isso não seja possível, deve-se prever dispositivo de inspeção, assim como indicado na NBR 8160 (ABNT, 1999).

Recomendação 10: Diâmetro mínimo do coletor predial

De acordo com a NBR 8160 (1999) item 5.1.4.1:

5.1.4.1 O coletor predial e os subcoletores podem ser dimensionados pelo somatório das UHC conforme os valores da tabela 7. O coletor predial deve ter diâmetro nominal mínimo DN 100.

O coletor predial deve ter no mínimo um diâmetro de 100 mm. Para verificar este item necessita-se do diâmetro do coletor predial, que é a tubulação horizontal

compreendida entre a última inserção do subcoletor e a rede pública coletora de esgoto ou o local de lançamento.

Recomendações 11, 12 e 13: Caixas e componentes de inspeção

De acordo com a NBR 8160 (1999) item 4.3.6:

4.2.6.2 Caixas e componentes de inspeção

O interior das tubulações, embutidas ou não, deve ser acessível por intermédio de dispositivos de inspeção. Para garantir a acessibilidade aos elementos do sistema, devem ser respeitadas, no mínimo, as seguintes condições:

- a) a distância entre dois dispositivos de inspeção não deve ser superior a 25,00 m;
- b) a distância entre a ligação do coletor predial com o público e o dispositivo de inspeção mais próximo não deve ser superior a 15,00 m; e
- c) os comprimentos dos trechos dos ramais de descarga e de esgoto de bacias sanitárias, caixas de gordura e caixas sifonadas, medidos entre os mesmos e os dispositivos de inspeção, não devem ser superiores a 10,00 m.

As recomendações normativas 11, 12 e 13 são referentes a informações de distâncias e comprimentos com relação a caixas e componentes de inspeção.

Na recomendação 11 é verificada a distância entre dois dispositivos de inspeção. Esta distância deve ser inferior a 25 metros.

Na recomendação 12, o comprimento do trecho entre um ramal de descarga e um ponto de inspeção, podendo ser uma caixa ou peça de inspeção, não deve ultrapassar 10 metros.

E por fim, na recomendação 13, a distância entre a ligação do coletor predial e o componente de inspeção mais próximo não deve ser superior a 15 metros, para assim, facilitar possíveis manutenções. Caso isso não seja possível, deve-se prever caixa ou peça de inspeção.

Recomendação 14: Distância mínima entre caixa de inspeção e tubo de queda

De acordo com a NBR 8160 (ABNT, 1999) item 4.2.6.2:

4.2.6.2 Caixas e dispositivos de inspeção

[...] Em prédios com mais de dois pavimentos, as caixas de inspeção não devem ser instaladas a menos de 2,00 m de distância dos tubos de queda que contribuem para elas.

Entre uma caixa de inspeção e um tubo de queda que contribui para a mesma há uma distância mínima a ser verificada. A distância entre ambos não deve ser inferior a dois metros.

Recomendação 15: Diâmetro mínimo do ramal de descarga

De acordo com a NBR 8160 (ABNT, 1999) item 5.1:

5.1 Componentes do subsistema de coleta e transporte de esgoto sanitário

As tubulações do subsistema de coleta e transporte de esgoto sanitário podem ser dimensionadas pelo método hidráulico, apresentado no anexo B, ou pelo método das unidades de Hunter de contribuição (UHC), apresentado em 5.1.2 a 5.1.4, devendo, em qualquer um dos casos, ser respeitados os diâmetros nominais mínimos dos ramos de descarga indicados na tabela 3.

O ramal de descarga deve ter diâmetro mínimo conforme Tabela 5.2. Para verificar este item necessita-se do diâmetro do ramal de descarga, que é a tubulação que está diretamente ligada ao aparelho sanitário e recebe diretamente os efluentes dos mesmos, conforme ilustrado na Figura 5.1.

Figura 5.1 – Representação do ramal de descarga no sistema de esgoto de um banheiro

Fonte: TIGRE (2010)

Tabela 5.2 - Diâmetro nominal mínimo dos ramais de descarga

Aparelho sanitário		Diâmetro nominal mínimo dos ramais de descarga
Bacia sanitária		100
Banheira de residência		40
Bebedouro		40
Bidê		40
Chuveiro	De residência	40
	Coletivo	40
Lavatório	De residência	40
	De uso geral	40
Mictório	Válvula de descarga	75
	Caixa de descarga	50
	Descarga automática	40
	De calha	50
Pia de cozinha residencial		50
Pia de cozinha industrial	Preparação	50
	Lavagem de panelas	50
Tanque de lavar roupas		40
Máquina de lavar louças		50

Fonte: NBR 8160 (ABNT, 1999)

A Tabela 5.2 aponta o diâmetro nominal mínimo dos ramais de descarga das bacias sanitárias como 100 mm, porém deve-se atentar que de acordo com a NBR 8160 (ABNT, 1999):

O diâmetro nominal DN mínimo para o ramal de descarga de bacia sanitária pode ser reduzido para DN 75, caso justificado pelo cálculo de dimensionamento efetuado pelo método hidráulico apresentado no anexo B e somente depois da revisão da NBR 6452:1985 (aparelhos sanitários de material cerâmico), pela qual os fabricantes devem confeccionar variantes das bacias sanitárias com saída própria para ponto de esgoto de DN 75, sem necessidade de peça especial de adaptação

5.1.2 Recomendações normativas de sistemas prediais de água fria

São apresentadas neste item as recomendações normativas referentes aos sistemas prediais de água fria.

Recomendação 16: Diâmetro a montante maior que a jusante nas tubulações

A recomendação 16 verifica se o diâmetro da tubulação a montante é maior que o da tubulação a jusante, ou seja, se em todos os trechos do sistema o diâmetro da tubulação de montante é maior ou igual ao diâmetro a jusante.

Os dados de entrada desta verificação são os diâmetros das tubulações dos trechos comparando o diâmetro de dois trechos de tubulação em sequência no sentido de montante para jusante.

Recomendação 17: Tubulação de água em cota superior à da tubulação de esgoto

As tubulações horizontais do sistema de água devem sempre ficar em cota superior ao das tubulações de esgoto, devido ao risco de comprometimento da qualidade da água com a contaminação pelo sistema de esgoto.

Esta verificação é importante, pois qualquer problema nesses sistemas pode comprometer a qualidade da água, que está diretamente relacionada à saúde de seus usuários. Atender a higiene do sistema predial de água fria garantindo a potabilidade de sua água é um dos principais objetivos do sistema, pois a má qualidade da água é um dos maiores vetores de disseminação de doenças.

Para calcular a conformidade do projeto com esta verificação, é necessário verificar as cotas (alturas no eixo z) da tubulação de água e da tubulação de esgoto da geratriz inferior da tubulação de água para a superior da tubulação de esgoto.

Recomendação 18: Registro de gaveta no barrilete, nas colunas de distribuição e nos ramais

De acordo com o NBR 5626 (ABNT, 1998) item 5.2.10.4:

5.2.10.4 Para possibilitar a manutenção de qualquer parte da rede predial de distribuição, dentro de um nível de conforto previamente estabelecido e considerados os custos de implantação e operação da instalação predial de água fria, deve ser prevista a instalação de registros de fechamento, ou de outros componentes ou de dispositivos que cumpram a mesma função. Particularmente, recomenda-se o emprego de registros de fechamento:

- a) no barrilete, posicionado no trecho que alimenta o próprio barrilete (no caso de tipo de abastecimento indireto posicionado em cada trecho que se liga ao reservatório);
- b) na coluna de distribuição, posicionado a montante do primeiro ramal;
- c) no ramal, posicionado a montante do primeiro sub-ramal.

Em cada coluna deverá haver um registro de gaveta posicionado a montante do primeiro ramal da coluna. Utiliza-se o registro de gaveta para eventuais manutenções na instalação ou no caso de algum vazamento.

Identificar em cada coluna a existência de um registro de gaveta e, em seguida, verificar se este está posicionado a montante do primeiro ramal de coluna, no caso de colunas de distribuição e ramais e no caso de barriletes, em cada trecho que se liga ao reservatório.

Recomendação 19: Coluna de ventilação com diâmetro igual ou superior ao da coluna de distribuição de onde deriva

De acordo com o NBR 5626 (ABNT, 1998) item 5.4.3.6:

5.4.3.6 No caso de tipo de abastecimento indireto, em edifícios de diversos pavimentos alimentados através de colunas de distribuição, que alimentam aparelhos desprovidos de separação atmosférica, deve ser prevista uma proteção contra refluxo de água de um ramal para as referidas colunas. [...] O diâmetro da tubulação de ventilação deve ser definido pelo projetista, sendo recomendável a adoção de diâmetro igual ao da coluna de distribuição. O ponto de junção da tubulação de ventilação com a coluna de distribuição deve estar localizado a jusante do registro de fechamento existente na própria coluna.

A coluna de ventilação do sistema deve ter diâmetro igual ou superior ao da coluna de distribuição de onde deriva. É necessário obter os diâmetros da coluna de ventilação e da coluna de distribuição e compará-los para esta verificação.

Recomendação 20: Localização do tubo ventilador da coluna de distribuição

De acordo com o NBR 5626 (ABNT, 1998) item 5.4.3.6:

5.4.3.6 No caso de tipo de abastecimento indireto, em edifícios de diversos pavimentos alimentados através de colunas de distribuição, que alimentam aparelhos desprovidos de separação atmosférica, deve ser prevista uma proteção

contra refluxo de água de um ramal para as referidas colunas. [...] O ponto de junção da tubulação de ventilação com a coluna de distribuição deve estar localizado a jusante do registro de fechamento existente na própria coluna.

A ligação da tubulação de ventilação com a coluna de distribuição deverá estar localizada a jusante do registro da coluna de distribuição conforme ilustrado na Figura 5.2.

Figura 5.2 – Tubo ventilador de coluna de distribuição

Fonte: ABNT (2015)

Recomendação 21: Diâmetro do extravasor maior que diâmetro de entrada do reservatório para pequenos reservatórios

Seguindo a mesma lógica da recomendação 16, a recomendação 21 trata das tubulações do subsistema de reservação. Em pequenos reservatórios o diâmetro do extravasor deve ser maior que o diâmetro da tubulação de alimentação do reservatório.

Os dados de entrada são os diâmetros do extravasor e da tubulação de alimentação do reservatório em estudo. A verificação é feita comparando estes diâmetros.

Recomendação 22: Posição do extravasor nos reservatórios

De acordo com o NBR 5626 (ABNT, 1998) item 5.2.7.4:

5.2.7.4 [...] recomenda-se que o nível máximo da superfície livre da água, no interior do reservatório, seja situado abaixo do nível da geratriz inferior da tubulação de extravasão ou de aviso.

Esta recomendação tem como informação o nível máximo de água no reservatório e o nível da geratriz inferior da tubulação e deve-se comparar os dois valores, onde o primeiro deve ser menor que o segundo.

Recomendação 23: Coluna exclusiva para válvulas de descarga

De acordo com o NBR 5626 (ABNT, 1998) item 5.3.2.2:

5.3.2.2 [...] recomenda-se projetar e executar sistemas independentes de distribuição para instalações prediais que utilizam componentes de alta vazão como, por exemplo, a válvula de descarga para bacia sanitária.

É necessário que haja coluna exclusiva para válvulas de descarga para evitar redução de vazão em pontos de utilização de água quente. Assim, a recomendação deve identificar válvulas de descarga e verificar se elas são alimentadas por colunas exclusivas.

Recomendação 24: Posicionamento das tubulações de água fria

De acordo com o NBR 5626 (ABNT, 1998) item 5.4.2.5:

5.4.2.5 As tubulações não devem ser instaladas dentro ou através de: caixas de inspeção, poços de visita, fossas, sumidouros, valas de infiltração, coletores de esgoto sanitário ou pluvial, tanque séptico, filtro anaeróbio, leito de secagem de lodo, aterro sanitário, depósito de lixo, etc.

As tubulações de água fria não devem estar posicionadas em contato ou no interior de: caixas de passagem e de inspeção de esgoto, valas de infiltração, tanque sépticos, sumidouros, aterros sanitários, depósitos de lixo.

Primeiramente, são identificados estes elementos no modelo em estudo e para cada elemento verificar se não há tubulação de água fria em contato ou no interior dos mesmos.

5.1.3 Recomendações normativas de sistemas prediais de água quente

Neste item são apresentadas as recomendações normativas referentes aos sistemas prediais de água quente.

Recomendação 25: Sifão térmico na tubulação de água quente

De acordo com a ABNT/CB-02 PROJETO 02:146.03-003/1 (ABNT, 2015):

6.13.3 A instalação de aquecedores de acumulação e de reservatórios de água quente deve observar as seguintes condições:

[...]

f) a tubulação de alimentação de água fria deve ser provida de sifão térmico ou outro meio para evitar transferência de calor para o seu interior, por convecção, da água quente armazenada no equipamento.

De acordo com a ABNT/CB-02 PROJETO 02:146.03-003/1 (ABNT, 2015), o sifão térmico é definido como “tubulação em forma de “U”, invertido ou não, com a finalidade de dificultar a transmissão de calor pela água por convecção natural”.

Na entrada de água fria no aquecedor de acumulação deve ser previsto um sifão térmico, conforme ilustrado na Figura 5.3, para que a água quente não retorne do aquecedor para a coluna de água fria.

Figura 5.3 - Sifão térmico na entrada de água fria do aquecedor de acumulação no sistema predial de água quente

Fonte: TIGRE (2010)

Recomendação 26: Existência de tubo de respiro na saída da tubulação de água quente

De acordo com a ABNT/CB-02 PROJETO 02:146.03-003/1 (ABNT, 2015):

6.13.3 A instalação de aquecedores de acumulação e de reservatórios de água quente deve observar as seguintes condições:

[...]

c) a saída da tubulação de água quente deve ser provida de respiro; quando a sua instalação não for viável, pode ser substituído por componente de idêntico desempenho;

A recomendação 26 proíbe o uso de respiro coletivo em edifícios, enquanto esta verificação tem como objetivo analisar a existência de tubos de respiro nos locais corretos. O tubo de respiro é um importante elemento de segurança quando se trata de sistemas de água quente.

Nesta verificação deve-se atentar à instalação de um tubo de respiro na saída da tubulação de água quente, conforme apresentado na Figura 5.4.

Figura 5.4 – Respiro no sistema predial de água quente

Fonte: TIGRE (2010)

Recomendação 27: Proibido uso de tubo de respiro coletivo em edifícios

De acordo com a ABNT/CB-02 PROJETO 02:146.03-003/1 (ABNT, 2015):

6.13.3 A instalação de aquecedores de acumulação e de reservatórios de água quente deve observar as seguintes condições:

[...]

e) é vedado o respiro coletivo;

Em edifícios é proibido o uso de respiros coletivos, o respiro tem como função permitir a saída de ar e/ou vapor de uma instalação.

5.2 RESUMO DAS VERIFICAÇÕES

Nas Tabelas 5.3, 5.4 e 5.5 estão as informações resumidas das recomendações de verificação propostas neste trabalho.

Tabela 5.3 – Resumo das verificações dos sistemas prediais de esgoto sanitário

Verificações		
Sistema Predial de Esgoto Sanitário		
	Dados de entrada	Fórmula de verificação
1	Cotas montante e jusante trecho de tubulação e distância entre estes pontos	Declividade $\geq 1\%$; sendo Declividade = $((Cota1)-(Cota2))/(Distância \times 100)$
2	Cotas montante e jusante de tubo e distância entre estes pontos no eixo das abscissas (x)	Declividade $\leq 5\%$; sendo Declividade = $((Cota1)-(Cota2))/(Distância \times 100)$
3	Diâmetro tubo a montante e diâmetro do tubo a jusante	Diam.montante $\leq$ Diam.jusante
4	Ligações do ramal de esgoto do piso térreo	Ramal de esgoto ligado tubo independente direto à caixa de inspeção e não a tubo de queda
5	Diâmetro da tubulação de ventilação, ramal de esgoto e ramal de descarga	Diam.tub.ventilação $\leq$ Diam.ramal esgoto ou ramal descarga
6	Existência do prolongamento do tubo de ventilação e sua altura e localização da extremidade aberta	Extrem. aberta distância $\geq 4m$ de janelas, portas ou vãos; e altura prolong. $> 2m$ acima da cobertura ou prolong. $> 0,3m$.
7	Diâmetro da coluna de ventilação, ligações à coluna e localização da extremidade superior	Diâmetro uniforme; ligada a subcoletor ou tubo de queda
8	Distância entre desconector e tubo ventilador	Diâmetro conforme tabela 5.1
9	Comprimento coletor predial	Comprimento $< 15m$
10	Diâmetro coletor predial	Diâmetro $> 100mm$
11	Distância entre dois dispositivos de inspeção	Distância entre dispositivos < 25 metros
12	Comprimento do trecho entre um ramal de descarga e um ponto de inspeção	Comprimento do trecho < 10 metros.
13	Distância entre ligação do coletor predial e dispositivo de inspeção mais próximo.	Distância < 15 metros
14	Distância mínima entre caixa de inspeção e tubo de queda	Distância entre caixa de inspeção e tubo de queda $\geq 2m$
15	Diâmetro ramal de descarga	Diâmetro conforme tabela 5.2

Tabela 5.4 – Resumo das verificações dos sistemas prediais de água fria

Verificações		
Sistema Predial de Água Fria		
	Dados de entrada	Fórmula de verificação
16	Diâmetro da tubulação a montante e diâmetro da tubulação a jusante	$\text{Diam. montante} \geq \text{Diam. jusante}$
17	Cota de tubulação de esgoto e cota de tubulação de esgoto no mesmo eixo vertical	$\text{Cota. esgoto} < \text{Cota. água}$
18	Registro de gaveta no barrilete, nas colunas de distribuição e nos ramais	Posicionamento dos registros de gaveta no barrilete, nas colunas de distribuição e nos ramais
19	Diâmetro da coluna de ventilação e diâmetro da coluna de distribuição	$\text{Diam. col. vent.} \geq \text{Diam. col. distr.}$
20	Localização da tubulação de ventilação, da coluna de distribuição e da jusante do registro da coluna	Localização da ligação da tubulação de ventilação com a coluna de distribuição = localização da jusante do registro da coluna
21	Diâmetro de entrada da tubulação e diâmetro do extravasados do reservatório	$\text{Diam. extravasador} > \text{Diam. entrada}$
22	Nível máximo de água no reservatório menor que o nível da geratriz inferior da tubulação	$\text{Nível máximo de água no reservatório} < \text{nível da geratriz inferior da tubulação}$
23	Existência de coluna exclusiva para válvulas de descarga e existência de aquecedores ligados a ramal de coluna que atenda ramal com válvulas de descarga	Existência de coluna exclusiva para válvulas de descarga e não existência de aquecedores ligados a ramal de coluna que atenda ramal com válvulas de descarga
24	Posicionamento: caixas de esgoto, valas de infiltração, fossas, sumidouros, aterros sanitários, depósitos de lixo e tubulações de água fria	Posicionamento caixas de esgoto, valas de infiltração, fossas, sumidouros, aterros sanitários, depósitos de lixo $\neq$ posicionamento tubulações de água fria

Tabela 5.5 – Resumo das verificações dos sistemas prediais de água quente

Verificações		
Sistema Predial de Água Quente		
	Dados de entrada	Fórmula de verificação
25	Localização da entrada de água fria no boiler de água quente	Existência de sifão na entrada de água fria no boiler de água quente
26	Existência de tubo de respiro na saída da tubulação de água quente	Existência de tubo de respiro na saída da tubulação de água quente
27	Existência de tubo de respiro coletivo em edifícios	A não existência de tubo de respiro coletivo em edifícios

6 DESENVOLVIMENTO DAS REGRAS DE VERIFICAÇÃO

As regras desenvolvidas neste capítulo têm como base as recomendações normativas do item 5.1.

As regras são inicialmente desenvolvidas no software SMC através da ferramenta Gerenciador de Conjunto de regras (*Ruleset Manager*). Quando não é possível criar as regras de verificação no SMC, buscam-se alternativas em ferramentas externas ao SMC, ou seja, são criados programas computacionais de verificação utilizando os conceitos de armazenamento de dados do IFC para obtenção das informações necessárias a estas verificações.

6.1 MODELO IFC

Para se trabalhar com o modelo IFC é necessário que ele esteja salvo com a extensão .ifc. Para utilizar o Solibri Model Checker é necessário um modelo em formato IFC, que pode ser aberto no software e, posteriormente, salvo no modelo nativo SMC, que tem um tamanho de arquivo menor que em seu formato nativo.

Para exportar um projeto do Autodesk Revit para o formato IFC é necessário estar com a última versão do Exportador IFC do Revit instalada, pois as versões mais atualizadas do exportador têm mais funcionalidades e correções de *bugs*, que podem ocorrer durante a exportação. É possível selecionar quais famílias do Revit serão exportadas para o modelo IFC como apresentado na Figura 6.1.

Para que alguma categoria não seja exportada, deve-se abrir as configurações de exportação para IFC através do caminho *File > Export > Options > IFC Options* e escrever “Not Exported” no “IFC Class Name”, assim a categoria escolhida não será exportada no modelo em IFC.

Figura 6.1 – Configurações da exportação do Revit para IFC.

Fonte: acervo do autor (2015)

Na Figura 6.2 é apresentada a janela para salvar o modelo quando ele é exportado para a extensão IFC. Na parte inferior da janela há a opção *Current view only*. Quando esta opção é selecionada são salvos todos os elementos que estavam visíveis no modelo. Caso esta opção não seja selecionada, o projeto inteiro é exportado para IFC, respeitando as configurações de exportação.

Selecionando a opção *Split walls and columns by story* o modelo exportado tem suas paredes e colunas divididas em níveis, porém ressalta-se que o modelo já deveria ter sido projetado em níveis, uma vez que é recomendado projetar do mesmo modo que o projeto é construído. A opção *Export base quantities* é utilizada para obter quantitativos dos elementos do modelo.

Figura 6.2 – Exportando o modelo IFC

Fonte: acervo do autor (2015)

Quando se abre um modelo no SMC deve-se inicialmente atribuir uma disciplina como arquitetura, elétrica, ventilação, entre outras. Os projetos das diversas disciplinas de projeto podem ser visualizados ao mesmo tempo para a coordenação do projeto. Isto facilita o processo de verificação.

6.2 SOFTWARE DE VERIFICAÇÃO

Para a elaboração das verificações é utilizado o software Solibri Model Checker e são criados programas computacionais que utilizam os dados contidos no modelo IFC para a verificação das recomendações.

6.2.1 Solibri Model Checker (SMC)

Dentre as diversas funcionalidades do SMC uma de suas principais é a verificação de regras. Neste item são apresentados a ferramenta “Gerenciador de regras”, que é responsável pelo desenvolvimento das regras; o modo para elaborar as regras de

verificação; e o conceito de Regras de Filtragem (*Gatekeeper Rules*), que é necessário para desenvolver filtros nas regras.

a) Gerenciador de regras

No gerenciador do conjunto de regras *Ruleset Manager* há diversas regras classificadas por disciplina como: Arquitetura, MEP - *Mechanical, Electrical and Plumbing Modeling* (Modelagem mecânica, elétrica e hidráulica), Estrutural e Genérico. No *Ruleset Manager* é possível modificar parâmetros de regras, adicionar, remover, renomear, modificar descrições de *rules* e *rulesets*.

Um *Ruleset* é um conjunto de regras. Quando se executa a verificação do modelo seleciona-se um *Ruleset* específico para verificar o que se deseja. Diversas regras separadas podem ser selecionadas para realizar as verificações de um modelo, porém o ideal é uma abordagem sequencial, das verificações básicas para as verificações mais avançadas. Por isso as regras são separadas por conjunto de regras (*Rulesets*) (KHEMLANI, 2009).

A maioria das regras existentes para *MEP* referem-se a redes elétricas e HVAC, ou seja, não há um conjunto de regras já pronto para sistemas prediais hidráulicos e sanitários. Para criá-las é necessária a utilização de regras genéricas. Em sua maioria, as regras existentes referem-se à geometria dos objetos e à verificação de suas propriedades, ou seja, interseção de componentes, distância entre componentes, existência de certa propriedade, componente em contato com outro componente etc. A existência destas regras genéricas e parametrizáveis permite a criação das regras propostas nesta pesquisa.

Um fato que dificulta a criação das regras propostas neste trabalho é a mudança de parâmetros de componentes como, por exemplo, quando uma verificação utilizar o filtro do nome do elemento, o nome já deve estar no parâmetro correto desde sua modelagem. Caso seja necessário alterar esta informação, o SMC não permite alterar propriedades de componentes em seu software.

Quando uma regra é criada, ela busca o elemento a ser verificado de acordo com seus parâmetros. Por exemplo, para verificar o comprimento do coletor predial, é necessário que a tubulação que representa o coletor predial esteja identificada desta forma. O ideal é que durante o desenvolvimento do projeto todas as informações já sejam colocadas no modelo, pois assim não há o retrabalho de identificação posteriormente. As principais informações necessárias são relacionadas à identificação dos elementos dos sistemas, de acordo com sua função. No caso dos sistemas prediais de esgoto sanitário, a identificação de elementos como ramal de descarga, ramal de esgoto, tubo de queda, coluna de ventilação, componentes de inspeção e outros é extremamente importante.

Ao analisar projetos de diversos projetistas percebe-se que a maioria das informações não está presente no projeto BIM, pois não se criou ainda o hábito entre os projetistas de se projetar um modelo completo incluindo essas informações.

Os projetos utilizados para esta pesquisa não apresentam estas informações, o que dificulta a criação e verificação das regras propostas. Como o SMC não permite a inclusão destas informações utilizou-se o descritivo fonte textual em IFC para incluí-las.

No descritivo fonte textual de um arquivo IFC, há uma estrutura fixa que permite saber qual o componente em questão e seus atributos. Por exemplo, a estrutura apresentada é a seguinte:

```
“... #50331= IFCPIPEFITTINGTYPE('0c1QuTLzL5qBsiVTzG6CMd',#52,'Elbow - Generic',$,$,$,($50330),'612404','Elbow - Generic',.NOTDEFINED.);...”
```

Toda linha é numerada no descritivo fonte textual. No exemplo acima “#50331” representa o número da linha e, logo em seguida, está o nome da classe do elemento. Após o nome da classe, as informações entre os parênteses contêm os diversos atributos do elemento.

A primeira informação é o *GlobalID*, no caso do exemplo '0c1QuTLzL5qBsiVTzG6CMd'm, que é o identificador global do elemento. A

segunda, #52, é o *OwnerHistory* que define todas as informações referentes a história e identificação do elemento. Em seguida, o nome define do elemento que neste caso é *Elbow – Generic*. Na quarta posição fica a *Description*, que contém a descrição do elemento, e que é o parâmetro escolhido para identificar os elementos necessários nesta pesquisa. Por fim, encontra-se o *Object Definition*, que é onde se define a hierarquia da composição dos elementos. (EASTMAN, 2008).

Para identificar qual elemento deve ser alterado, foi utilizado o *GUID*, que é uma sequência de caracteres que define o elemento de forma única. Localizando cada elemento no próprio SMC é possível identificar sua função e por meio do *GUID*, alterar as informações.

Completando o modelo com as informações necessárias, foi possível a criação de diversas regras propostas nesta pesquisa.

b) Desenvolvimento de regras

O SMC apresenta uma biblioteca de regras prontas para serem verificadas. Porém, estas regras são limitadas e somente abrangem parte das disciplinas de um modelo como, por exemplo, arquitetura, acessibilidade, HVAC, MEP e estruturas. E mesmo estas disciplinas contêm verificações importantes que não existem nesta biblioteca.

Para criar sua própria regra customizada, é possível criá-las utilizando as regras padrões e criar todas as suas interações necessárias ou adicionando, removendo ou modificando parâmetros de uma regra pré-existente.

Na Tabela 6.1 estão listados todos os templates de regras gerais que podem ser utilizados para a criação de novas regras customizadas, além da função de cada um deles.

A maioria das regras gerais presentes no SMC são referentes a verificação de acessibilidade e sistema de combate à incêndios, que é o principal foco das verificações. E muitas regras não permitem que sejam adaptadas para serem

utilizadas em outras disciplinas de projeto. Das regras listadas na Tabela 6.1 muitas são relacionadas exclusivamente a alguns subsistemas específicos, o que restringe o número de regras a serem utilizadas na elaboração das verificações propostas nesta pesquisa, como por exemplo, a SOL/19, SOL/172, SOL/179, SOL/210, SOL/233 e etc.

Tabela 6.1 – (Continua) Regras Gerais do SMC

Tag	Rule (Regra)	Função
SOL/1	<i>General Intersection Rule</i> - Regra geral de intersecção	Verifica diversas interferências entre os componentes. Esta regra permite a seleção de disciplinas de modelagem, tipos de componentes, o tipo de interseção que não deveria aparecer, e as tolerâncias.
SOL/9	<i>Property Values Must Be from Agreed List</i> - Valores de propriedades devem ser de lista aprovada	Verifica se as propriedades de dados de componentes têm valores que foram acordados.
SOL/11	<i>Model Should Have Components</i> - Modelos devem ter componentes	Verifica se o modelo tem componentes de tipos selecionados.
SOL/17	<i>Layer of Component Must Be from Agreed List</i> - Layer de componente deve ser de lista aprovada	Verifica se os componentes estão localizados em camadas corretamente.
SOL/19	<i>Spaces Must Have Enough Window Area</i> - Espaços devem ter área de janelas suficiente	Verifica que todo o espaço da área da janela está dentro do intervalo dado.
SOL/21	<i>Components Must Have Unique Identifier</i> - Componentes devem ter identificador único	Esta regra verifica se cada componente tem um identificador único.
SOL/23	<i>Components Must Touch Other Components</i> - Componentes devem tocar outros componentes	Verifica se um componente está encostado em outro componente.
SOL/25	<i>Components Must Be Connected to Spaces</i> - Componentes devem estar conectados a espaços	Verifica se paredes, portas ou janelas exteriores estão ligados a um espaço e componentes internos a dois espaços.
SOL/36	<i>Space Requirements</i> - Requerimentos de espaços	Verifica que o modelo tem a quantidade exigida de espaços com o tipo e tamanho especificado.
SOL/37	<i>Total Space Area on Each Floor</i> - Area total de espaço em cada andar	Verifica a área de espaços em cada andar edifício (máximo e mínima).

Tabela 6.1 – (Continuação) Regras Gerais do SMC

Tag	Rule (Regra)	Função
SOL/38	<i>Space Count on Each Floor</i> - Quantidade de espaço em cada andar	Verifica a quantidade de espaços em cada andar de um edifício.
SOL/111	<i>Floor and Gross Area Analysis</i> - Análise de piso e área bruta	Verifica a altura e áreas brutas de piso do edifício.
SOL/132	<i>Space Area</i> - Área de espaço	Verifica se a área dos espaços está dentro de limites de áreas mínimas e máximas.
SOL/161	<i>Distances Between Spaces</i> - Distância entre espaços	Verifica se espaços com exigência especial de localização estão localizados corretamente.
SOL/162	<i>Spaces Must Be Included in Space Groups</i> - Espaços devem ser incluídos no Grupo de espaços	Verifica se todos os espaços no modelo estão incluídos em algum grupo de espaço.
SOL/171	<i>Component Property Values Must Be Consistent</i> - Valores de Propriedade de componente devem ser consistentes	Verifica se as dimensões dos componentes selecionados são iguais.
SOL/172	<i>Fire Walls Must Have Correct Wall, Door, and Window Types</i> - Paredes de fogo devem ter tipos corretos de paredes, portas e janelas.	Verifica se as paredes, janelas e portas que separam compartimentos de incêndio são resistentes a fogo.
SOL/175	<i>Space Group Containment</i> - Contenção de grupo de espaços	Verifica se o modelo contém grupos de espaço necessário com espaços necessários.
SOL/176	<i>Model Structure</i> - Estrutura modelo	Verifica se a estrutura do modelo está correta.
SOL/179	<i>Escape Route Analysis</i> - Análise de rota de escape	Esta regra verifica se é possível sair com segurança do edifício em caso de incêndio ou outra emergência.
SOL/190	<i>Fire Compartment Area Must Be within Limits</i> - Área de compartimento	Verifica se a área de todos os compartimentos de incêndio é menor do que os valores máximos indicados.
SOL/191	<i>Spaces Must Be Included in Fire Compartments</i> - Espaços devem ser incluídos nos compartimentos de fogo	Verifica se todos os espaços no modelo estão incluídos em algum compartimento de incêndio.
SOL/202	<i>Space Validation</i> - Validação de espaços	Verifica a geometria e localização dos espaços.
SOL/203	<i>Required Property Sets</i> - Conjuntos de propriedades exigidas	Verifica se o modelo tem certos conjuntos de propriedades e propriedades próprios a ele.

Tabela 6.1 – (Continuação) Regras Gerais do SMC

Tag	Rule (Regra)	Função
SOL/206	<i>Model Comparison</i> - Comparação de modelos	Compara dois modelos e mostra suas diferenças.
SOL/207	<i>Accessible Ramp Rule</i> - Regra de rampa de acessibilidade	Verifica a acessibilidade das rampas de acessibilidade.
SOL/208	<i>Accessible Door Rule</i> - Regra de acessibilidade de portas	Verifica a acessibilidade da porta de diversas formas como: dimensões, direções de abertura e espaços livres da porta.
SOL/209	<i>Free Floor Space</i> - Espaço de andar livre	Verifica diferentes requisitos relacionados com a acessibilidade para espaços livres.
SOL/210	<i>Accessible Stair Rule</i> - Regra de escada de acessibilidade	Verifica a acessibilidade de escadas a partir de perspectivas diferentes. Ele verifica o número de passos, as dimensões de passos, dimensões de patamares intermédios, espaço livre no início e no fim da escada.
SOL/211	<i>Accessible Window Rule</i> - Regra de janela de acessibilidade	Verifica a acessibilidade de janelas de diferentes perspectivas.
SOL/212	<i>Building Envelope Validation</i> - Validação do envelope da construção	Verifica se as paredes externas no modelo são as mesmas paredes que cercam espaços área bruta e/ou todos os espaços no modelo.
SOL/213	<i>Shelf Running Metre Rule</i> - Regra de execução de prateleiras	Verifica a execução de prateleiras.
SOL/215	<i>Allowed Profiles</i> - Perfis permitidos	Verifica se os perfis de viga e pilar listados são os únicos utilizados.
SOL/216	<i>Wall Validation</i> - Validação de paredes	Verifica a geometria e dimensionamento da parede.
SOL/218	<i>Element Hole Validation Rule</i> - regra de validação de Buraco de elemento	Verifica se a distância de um buraco para o final do feixe é mais do que determinado valor limite.
SOL/220	<i>Floor Distance</i> - Distância do piso	Verifica a distância vertical entre as lajes.
SOL/221	<i>Wall Distance</i> - Distância de parede	Verifica distância entre paredes paralelas.

Tabela 6.1 – (Continua) Regras Gerais do SMC

Tag	Rule (Regra)	Função
SOL/222	<i>Component Distance</i> - Distância de componente	Verifica se dois componentes obedecem a distâncias mínimas ou máximas entre eles.
SOL/223	<i>Structural Components Fit in Architectural Ones</i> - Componentes estruturais ajustam em componentes arquitetônicos	Verifica se os componentes estruturais no modelo ajustam em componentes do modelo de arquitetura.
SOL/224	<i>Architectural Components are Filled</i> - Componentes arquitetônicos estão preenchidos	Verifica se os componentes em modelo arquitetônico têm valores.
SOL/225	<i>Number of Components in Space</i> - Número de componentes em espaço	Verifica se um espaço específico inclui componentes necessários.
SOL/226	<i>Free Area in Front of Components</i> - Área livre na frente de componentes	Verifica se há área livre (não há outros componentes) na frente de componentes especificados.
SOL/228	<i>Floor Names Must Be Consecutive</i> - nomes de pisos devem ser consistentes	Verifica se os nomes de piso são numéricos e consistentes. Os nomes de pisos devem começar a partir de 1.
SOL/230	<i>Property Rule Template with Component Filters</i> - Template de propriedade de regra com filtro de componente	Verifica apenas os componentes que passam nos filtros.
SOL/231	<i>Comparison Between Property Values</i> - Comparação entre valores de propriedades	Compara os valores de propriedades.
SOL/232	<i>Manual Checking Rule</i> - Regra de checagem manual	Cria filtros para os componentes que você especificar, definindo suas propriedades.
SOL/233	<i>Allowed Beam Intersections</i> - Intersecção de vigas permitidas	Verifica as interseções com vigas e outros elementos de modo que um componente especificado seja permitido passar na área especificada.

c) Regras de filtragem (*Gatekeeper Rules*)

As Regras de filtragem (*Gatekeeper Rules*) são importantes na criação de novas regras no SMC. Elas têm a capacidade de filtrar somente os componentes específicos com base em uma condição de sub-regras para aprofundar a verificação (LIPP, 2015).

As sub-regras são criadas arrastando outra regra ou um conjunto de regras para a regra que se está configurando dentro do Visualização de espaço de trabalho (*Workspace View*). No Visualização de informações (*Info View*) há opções de sub-regras, conforme descritas a seguir e apresentado na Figura 6.3.

- Check all model components, if passed (Conferir todos componentes do modelo, se aprovada): Quando este item é selecionado, todos os componentes do modelo são verificados, se essa regra passa.
- Check all model components, if issues (Conferir todos componentes do modelo, se permite): Quando este item é selecionado, todos os componentes do modelo são verificados, se essa regra cria pelo menos um problema.
- Check only failed components (Checar somente componentes que falharam): Quando este item é selecionado, os componentes que criam problemas nesta regra são verificados nas sub-regras.
- *Check only passed components* (Checar somente componentes que passaram): Quando este item é selecionado, os componentes que são aceitos por esta regra são verificados nas sub-regras.

Dependendo de como será realizado o filtro é escolhido um dos itens de opções de sub-regras apresentadas para realizar a verificação desejada.

Figura 6.3 – Opções de sub regras no *Info View*

The screenshot shows a software window titled "Info" with a tab icon and a close button. It contains the following fields and options:

- Name:** Rules for Spaces
- Description:** Space Checking rules.
- Sub Rule Options:** A group of four radio buttons:
 - ☒ Check all model components, if passed
 - ☐ Check all model components, if issues
 - ☐ Check only failed components
 - ☐ Check only passed components
- Author:** Solibri, Inc.
- Version:** 4.1
- Date:** 2015-02-04
- Support Tag:** SOL/11/4.1

Fonte: acervo do autor (2015)

O modelo IFC tem as seguintes capacidades com relação às propriedades de um projeto (EASTMAN, 2008):

- representações geométricas: linhas, intersecções e objetos;
- relações paramétricas: associações, coordenações e correções;
- propriedades dos elementos;
- propriedades de gestão, controle, planejamento e etc.

Com relação às representações geométricas, os elementos de um modelo podem ter sua geometria expressada de diversas maneiras:

- *constructive solid geometry* (geometria sólida construtiva), em que o objeto é armazenado como uma árvore de operadores, primitivas e são combinados através de operados booleanos;
- *swept solid geometry* (geometria sólida extrudada), em que o objeto é expresso como um sólido extrudado;
- *surface geometry* (geometria de superfície), em que o objeto é expresso como modelo baseado em faces de superfície;
- *boundary representation geometry* (representação geométrica de limites), em que o objeto é expresso como uma representação limite facetada; e
- *tessellated geometry* (geometria xadrez), em que o objeto é expresso como uma malha triangular, como um xadrez triangular.

Os modelos utilizados para as análises desta pesquisa utilizam a geometria sólida extrudada. Esta é a representação usual utilizada na compatibilização de arquivos gerados por softwares como Autodesk Revit e DDS-CAD para o formato IFC. Algumas verificações podem necessitar de alguns ajustes caso a representação geométrica tenha outra representação.

6.2.2 Funcionamento dos programas computacionais de verificação

Os programas computacionais propostos nesta pesquisa são ferramentas criadas de modo a desenvolver uma forma de verificar recomendações normativas que não são possíveis de serem realizadas no SMC. São programas computacionais que podem

ser criados em linguagem computacional e executáveis em sistemas computacionais.

Eles utilizam as informações contidas no modelo em IFC, por isso necessita-se entender como estas informações são armazenadas no modelo de forma que seja possível extraí-las para utilização nas regras propostas.

6.3 CLASSIFICAÇÃO E ELABORAÇÃO DAS REGRAS DE VERIFICAÇÃO

As regras de verificações podem ser classificadas de diversas formas. Uma forma eficaz de classificá-las é através da complexidade das mesmas, assim, Solihin e Eastman (2015) propõem estas quatro classificações:

- Classe 1 – Regras que requerem um ou alguns dados específicos: esta regra checa atributos e entidades específicas;
- Classe 2 – Regras que requerem um valor derivado simples: esta regra checa atributos e valores derivados;
- Classe 3 – Regras que requerem uma estrutura de dados complexa: esta regra utiliza propriedades e algoritmos para a verificação;
- Classe 4 – Regras que requerem um “prova de solução”: esta regra procura conformidade no modelo e não simplesmente cumpre os critérios estabelecidos, a regra propõe uma solução.

Neste item é abordado o modo de elaboração de cada regra, cada uma delas é separada pela classificação proposta por Solihin e Eastman (2015).

6.3.1 Classe 1 - Regras que requerem um ou alguns dados específicos

As regras apresentadas neste item são regras que utilizam um ou alguns dados específicos do modelo, ou seja, são informações que estão contidas nos parâmetros do modelo conforme Figura 6.4. São regras de pouca complexidade e verificações simples. São, em geral, regras para a verificação de medidas de comprimentos e diâmetros, existência de componentes.

Figura 6.4 – Diagrama para do funcionamento de regras de verificação em regras da Classe 1

Fonte: elaborado pelo autor (2015)

De acordo com Solihin e Eastman (2015), estas regras podem ser verificadas com a utilização do SMC, pois a informação está explícita e disponível no modelo diretamente das entidades ou através de propriedades associadas a outras entidades utilizando as relações entre elas. Ao processar este tipo de regra, o modelo deve contar com as entidades e suas relações bem definidas.

As regras da Classe 1 são elaboradas com utilização das seguintes regras (rules) do SMC:

- SOL/230 - Template de regra de propriedade com filtros de componentes (Property Rule Template with Component Filters);
- SOL/23 - Componentes devem tocar outros componentes (*Components Must Touch Other Components*).

A elaboração das regras da Classe 1 é explanada neste item de acordo com o tipo de verificação:

- Verificação do parâmetro comprimento
- Verificação do parâmetro diâmetro
- Verificação do posicionamento de um elemento
- Verificação de elementos em contato
- Verificação de existência ou não de elementos

A Figura 6.5 apresenta as regras de verificação das recomendações da Classe 1.

Figura 6.5 – Regras de verificação da Classe 1

Fonte: elaborado pelo autor (2016)

a) Verificação do parâmetro comprimento

A recomendação que analisa o parâmetro comprimento é:

- Recomendação 9: Comprimento do coletor predial

A Recomendação 9 analisa se o coletor predial tem comprimento menor que 15 metros. Utilizou-se a regra (*rule*) SOL/230 checando se os tubos (*pipes*) com a descrição “Coletor predial” têm comprimento menor que 15 metros conforme ilustrado na Figura 6.6.

Figura 6.6 – Verificação da recomendação 9: Comprimento do coletor predial

Info

Name: Regra : Esgoto

Description: [Edit](#)
Comprimento do coletor predial

Author: Solibri, Inc.

Version: 1.1

Date: 2013-02-22

Support Tag: SOL/230/1.1

Parameters [Revert Changes](#) [Severity Parameters](#)

Components to Check

State	Component	Property	Operator	Value
Include	Pipe	Description	Contains	'Coletor predial'

Requirements

State	Component	Property	Operator	Value
Include	Pipe	Cotas.Comprimento	<	15

Fonte: elaborado pelo autor (2015)

b) Verificação do parâmetro diâmetro

Há três recomendações que analisam o parâmetro diâmetro de tubulações:

- Recomendação 10: Diâmetro mínimo do coletor predial
- Recomendação 15: Diâmetro mínimo do ramal 9 de descarga
- Recomendação 21: Diâmetro do extravasor maior que diâmetro da tubulação de alimentação do reservatório

A regra de verificação da recomendação 10 consiste em averiguar se o coletor predial atende o requisito de diâmetro mínimo de 100 mm. Para criar esta regra no SMC, utiliza-se a regra SOL/230. Os componentes a serem checados (*Components to check*) são os tubos (*Pipe*) que contêm a propriedade descrição (*Description*) 'coletor predial' conforme Figura 6.7. O requerimento para passar na verificação é

que estes componentes tenham como diâmetro nominal um valor superior a 100 mm.

Figura 6.7 – Regra 10: Diâmetro mínimo do coletor predial

The screenshot shows a software window titled 'Info' and 'Parameters'.

Info Section:

- Name: Regra Esgoto
- Description: Diâmetro mínimo do coletor predial
- Author: Solibri, Inc.
- Version: 1.1
- Date: 2013-02-22
- Support Tag: SOL/230/1.1

Parameters Section:

Buttons: Revert Changes, Severity Parameters

Components to Check:

State	Component	Property	Operator	Value
Include	Pipe	Description	Contains	'Coletor predial'

Requirements:

State	Component	Property	Operator	Value
Include	Pipe	Pset_PipeSegmentTyp...	>	100

Fonte: elaborado pelo autor (2015)

A regra de verificação da recomendação 15 é composta da análise do diâmetro mínimo do ramal de descarga dependendo do aparelho sanitário que o mesmo está ligado. Para verificar esta regra utiliza-se o conceito de Regras de filtragem (*Gatekeeper rules*). É necessário criar diversas regras (*Rules*), uma para cada aparelho sanitário. Por exemplo, o ramal de descarga ligado à pia de cozinha residencial deve ter diâmetro nominal igual a 50 mm, pois segundo a NBR 8160 (ABNT, 1999) é o diâmetro mínimo para ramal de descarga de pia de cozinha residencial.

A Regra de filtragem neste caso é utilizar a regra SOL/23 para verificar se o ramal de descarga analisado está ligado a uma pia de cozinha residencial. Em caso

positivo, faz-se a verificação utilizando a regra SOL/230 verificando se este ramal de descarga tem diâmetro maior que 50 mm, semelhante à verificação realizada para a regra 9. Para cada aparelho sanitário deve-se utilizar este conjunto de regras e o diâmetro mínimo deverá variar de acordo com a Tabela 5.1.

E a regra de verificação da recomendação 21 também analisa o parâmetro diâmetro, porém faz a comparação de diâmetros de duas tubulações. Utiliza-se uma Regra de Filtragem para filtrar somente as tubulações que estão encostadas no reservatório por meio da regra SOL/23.

Para identificar qual tubulação é a de alimentação e qual o extravasador, o ideal é que o modelo já contenha esta informação em sua descrição, por exemplo. Outra forma de identificar é supor que o diâmetro da tubulação de alimentação é a tubulação que estiver em uma cota superior e a tubo do extravasador. Na cota inferior. E assim, é feita a comparação dos diâmetros utilizando a regra SOL/230.

c) Verificação do posicionamento de um elemento

Há uma recomendação que se enquadra na análise do posicionamento de um elemento:

- Recomendação 24: Posicionamento das tubulações de água fria

Utilizando a regra SOL/23 é possível saber se as tubulações de água fria estão em contato ou no interior de caixas de passagem e de inspeção de esgoto, valas de infiltração, tanques sépticos, sumidouros, aterros sanitários, depósitos de lixo. Se estiverem, estão incorretamente posicionadas. E desta forma, a recomendação 24 é verificada.

d) Verificação de elementos em contato um com o outro

A recomendação referente à verificação de elementos em contato um com o outro é:

- Recomendação 25: Sifão térmico na tubulação de água quente

O sifão térmico nada mais é que tubulações conectadas formando um “U”. Em geral, ele não é identificado como um componente único e específico, mas, apresentado como tubulação comum. No entanto, os sifões térmicos têm funções de extrema importância ao sistema predial de água quente, como evitar a perda de calor por convecção afetando todo o sistema.

Na elaboração da regra de verificação da regra 25, o primeiro passo é identificar na descrição as tubulações que fazem parte do sifão no descritivo fonte textual do arquivo IFC. Em seguida, utilizar a regra SOL/23 para verificar se o sifão está conectado à válvula de alívio e pressão que está localizada na entrada do aquecedor de acumulação.

e) Verificação de existência ou não de elementos

Duas recomendações são referentes à existência ou não de certos elementos:

- Recomendação 27: Proibido uso de tubo de respiro coletivo em edifícios
- Recomendação 26: Existência de tubo de respiro na saída da tubulação de água quente

O respiro é um elemento de segurança que tem como finalidade evitar o aumento de pressão de vapor no caso da ocorrência de um superaquecimento. Ele é uma tubulação vertical instalada imediatamente após a saída de água quente do aquecedor de acumulação e deve ser identificado na descrição no descritivo fonte textual do arquivo IFC antes de executar a verificação. Para verificar a recomendação 26 basta utilizar regra SOL/230, que identifica a existência ou não deste elemento.

A regra de verificação da recomendação 27 verifica o uso de tubo de respiro coletivo em edifícios. Devido a questões práticas e econômicas como, por exemplo, em edifícios, pode-se substituir o tubo de respiro por outro componente de mesmo desempenho. Em edifícios ele geralmente é substituído por válvulas de alívio de pressão. Para executar esta verificação utiliza-se a regra SOL/230 e é analisado se a edificação em questão é um edifício ou não, caso positivo, não poderá haver respiros coletivos.

5.3.2 Classe 2 - Regras que requerem um valor derivado simples

Neste item são listadas as regras de verificação que se enquadram na Classe 2. As regras desta classe necessitam de valores derivados de informações de entidades contidas no modelo conforme ilustrado na Figura 6.8. Exemplos típicos desta classe são regras que necessitam de dados como distância entre dois componentes, a distância não está explícita nos dados do modelo, porém ela pode ser calculada de forma simplificada com dados presentes no modelo.

6.8 - Diagrama para do funcionamento de regras de verificação em regras da Classe 2

Fonte: elaborado pelo autor (2015)

Segundo Solihin e Eastman (2015), a Classe 2 requer certo nível de expertise e desenvolvimento planejado. Os valores necessários para a verificação necessitam serem derivados do modelo BIM e suas relações.

As regras da Classe 2 são elaboradas com utilização das seguintes regras (*Rules*) do SMC:

- SOL/230 - Template de regra de propriedade com filtros de componentes (Property Rule Template with Component Filters);
- SOL/23 - Componentes devem tocar outros componentes (*Components Must Touch Other Components*);
- SOL/222 – Distância de componente (Component Distance);

- SOL/25 – Componentes devem estar conectados a espaços (*Components Must Be Connected to Spaces*).

A elaboração das regras da Classe 2 é explanada neste item de acordo com o tipo de verificação:

- Verificação de distância entre elementos
- Verificação da localização de elementos
- Verificação de cotas de elementos

A Figura 6.9 apresenta as regras de verificação das recomendações da Classe 2.

Figura 6.9 – Regras de verificação da Classe 2

Fonte: elaborado pelo autor (2016)

a) Verificação de distância entre elementos

A regra de verificação relacionadas à verificação de distância entre elementos é a regra da seguinte recomendação:

- Recomendação 8: Distância máxima de desconector ao tubo ventilador

A recomendação 8 verifica a distância máxima entre o desconector e o tubo ventilador em relação ao diâmetro do ramal de esgoto ao qual é conectado.

Novamente é utilizado o conceito de Regra de filtragem. A regra SOL/23 é utilizada para verificar se o ramal de esgoto está ligado ao desconector e, em seguida, a mesma regra para verificar se este ramal de esgoto está conectado ao tubo ventilador (ramal de ventilação). Assim, após passar todos estes filtros das Regras de Filtragem, são elaboradas diversas regras utilizando a regra SOL/222, uma para cada diâmetro de ramal de esgoto, ou seja, para cada diâmetro do ramal de esgoto é verificada se a distância entre o desconector e o tubo ventilador é menor que a máxima estabelecida pela Tabela 5.1.

Por exemplo, um ramal de esgoto com diâmetro de 40 mm deve ter a distância entre o desconector a ele conectado e o tubo ventilador menor que 1,0 m e no caso de ramal de esgoto com diâmetro de 50 mm, a distância máxima entre estes componentes é de 1,2 m e, assim por diante, seguindo os dados da Tabela 5.1 apresentado no item 5.1.1.

b) Verificação da localização de elementos

As recomendações que utilizam regras de verificação referentes à localização de elementos são:

- Recomendação 4: Ramal de esgoto do pavimento térreo
- Recomendação 22: Posição do extravasor nos reservatórios

Inicialmente, a regra da recomendação 4 necessita de um Espaço (*Space*) definido. O *Space* a ser definido é o pavimento térreo. A primeira Regra de filtragem é que o ramal de esgoto deve estar localizado no piso térreo através da regra SOL/25. A segunda é utilizar a regra SOL/23 para identificar a tubulação ligada ao ramal de esgoto e depois novamente o mesmo conjunto de regras para verificar se esta tubulação está ligada à caixa de inspeção e não a um tubo de queda. Se passar por todas as sub-regras, a verificação é realizada.

Para o desenvolvimento da regra de verificação da recomendação 22 está na dificuldade em obter a informação que ela requer: o valor do nível máximo de água no reservatório. Esta não é uma informação comum no projeto de SPHS. Em geral, esta informação está somente no memorial de cálculo do sistema predial de água fria e não está presente no modelo geométrico.

Para que a mesma seja verificada, é necessário que o valor do nível máximo de água no reservatório esteja nas informações do reservatório. Desta forma, por meio da regra SOL/23 são filtrados o reservatório e o tubo extravasor do reservatório, que deve ser identificado durante a elaboração do projeto. Em seguida, são comparados o nível máximo de água no reservatório e a cota da geratriz inferior do tubo extravasor, em que o primeiro deve ser menor que o segundo utilizando a regra SOL/230.

c) Verificação de cotas de elementos

Há uma recomendação que necessita da verificação de cotas de elementos:

- Recomendação 17: Tubulação de água em cota superior à da tubulação de esgoto

O intuito da verificação da recomendação 17 é analisar se as tubulações horizontais de água estão em nível superior ao das tubulações horizontais de esgoto em um mesmo ambiente para garantir que não haja contaminação em caso de vazamentos, por exemplo.

Para elaborar esta regra a solução é utilizar a regra SOL/222, que realiza o cálculo da distância vertical entre dois componentes que estão posicionados um acima do outro, conforme ilustrado na Figura 6.10. Para que não haja a comparação entre todas as tubulações existentes, é feita a separação da regra por pavimento-tipo. No Tipo de grupo de espaço (*Space Group Type*) é escolhida para cada pavimento tipo uma regra, para que a verificação seja feita por pavimento e não sejam comparadas tubulações de pavimentos diferentes.

Figura 6.10 – Regra 17: Tubulação de água em cota superior à da tubulação de esgoto

Sub Rule Options

- ☒ Check all model components, if passed
- ☐ Check all model components, if issues
- ☐ Check only failed components
- ☐ Check only passed components

Parameters

Distance Calculation

- ☐ Check Maximum Distance
- ☒ Check Minimum Distance

Distance: 10 mm

Distance Calculation Method: Above

Space or Space Group Containment

Space or Space Group Containment: Ignore Space or Space Group

Space Group Type:

Source Component

Source Components to be Checked

State	Component	Property	Operator	Value
Include	Pipe	Description	Contains	'água'

Target Component

Target Components to be Checked

State	Component	Property	Operator	Value
Include	Pipe	Description	Contains	'esgoto'

Fonte: elaborado pelo autor (2015)

5.3.3 Classe 3 – Regras que requerem uma estrutura de dados complexa

Neste item é abordada a elaboração das regras que pertencem à Classe 3. Estas regras requerem uma estrutura maior de dados com semântica complexa, ou seja, estes dados não são simples de serem obtidos e necessitam explorar profundamente as relações entre os elementos conforme ilustrados na Figura 6.11.

6.11 - Diagrama para do funcionamento de regras de verificação em regras da Classe 3

Fonte: elaborado pelo autor (2015)

Estas regras somente podem ser realizadas através do auxílio de ferramenta externa ao SMC ou com a associação de ambas, pois o SMC não possui as ferramentas para extrair as informações necessárias para as verificações propostas.

As ferramentas externas ao SMC são os programas computacionais de verificação que utilizam as informações contidas no modelo IFC para que exerçam funções não presentes no SMC.

Além dos programas computacionais de verificação, as regras da Classe 3 são elaboradas com utilização também das seguintes regras (rules) do SMC:

- SOL/230 - Template de regra de propriedade com filtros de componentes (Property Rule Template with Component Filters);
- SOL/23 - Componentes devem tocar outros componentes (*Components Must Touch Other Components*);
- SOL/222 - Distância de componente (*Component Distance*)

A elaboração das regras da Classe 3 é explanada neste item de acordo com o tipo de verificação:

- Verificação de declividade de elementos
- Verificação do parâmetro diâmetro e de elementos conectados um ao outro
- Verificação de distância e comprimento de componentes
- Verificação do distância entre elementos
- Verificação da existência de elementos no sistema
- Verificação referente à localização de elementos

A Figura 6.12 apresenta as regras de verificação das recomendações da Classe 3.

Figura 6.12 – Regras de verificação da Classe 3

Fonte: elaborado pelo autor (2016)

a) Verificação de declividade de elementos

Um dado a ser analisado é a declividade de elementos como tubulações, que é a verificação presente nas seguintes recomendações:

- Recomendação 1: Declividade mínima
- Recomendação 2: Declividade máxima de 5%

A regra 1 analisa as declividades mínimas das tubulações de esgoto sanitário de acordo com seu diâmetro nominal.

É possível saber a inclinação da tubulação pelas propriedades Elevação superior (*Top Elevation*), Elevação inferior (*Bottom Elevation*) e Comprimento (*Length*), conforme eq. (2):

$$\text{Declividade} = \frac{\text{Top Elevation} - \text{Bottom Elevation}}{\text{Length}} \quad (2)$$

A propriedade Comprimento está classificada no Conjunto de propriedades (Property Set) *Pset_FlowSegmentPipeSegment*, enquanto as propriedades Elevação superior e Elevação inferior estão no Grupo de propriedade Localização (*Location*). Na Figura 6.13 pode-se verificar a seleção de propriedades.

Figura 6.13 – Selecionando propriedades

Fonte: elaborado pelo autor (2015)

O SMC permite obter estas propriedades e utilizá-las para a verificação de recomendações, porém quando é analisada a declividade não é possível saber se a declividade é positiva ou negativa. O SMC não informa o sentido do escoamento do esgoto, pois ele fornece o valor absoluto de cota do ponto mais elevado e do ponto mais baixo do elemento, sem a localização destes pontos. O escoamento de esgoto ocorre por gravidade e caso a tubulação analisada esteja no sentido incorreto de escoamento, de nada adiantará verificar a declividade em termos de valores em módulo.

Deste modo é possível criar no SMC uma verificação que atenda somente parcialmente a verificação proposta, já que não é possível saber se a declividade da tubulação está no sentido correto do escoamento. Verificar somente o valor em módulo pode resultar em um falso resultado de que o projeto está correto e de acordo com as normas e boas práticas de projeto, o que muitas vezes pode não ser verdadeiro.

Pode-se identificar o sentido do escoamento por meios não práticos como, por exemplo, enumerar em ordem crescente as tubulações de montante para jusante no descritivo fonte textual em IFC. A partir do aparelho sanitário, procurar as tubulações de acordo com o *GUID* identificado, visualizando o modelo e, em seguida, escolher uma propriedade para acrescentar esta numeração como forma de identificar o sentido do escoamento. Como se utiliza inicialmente a propriedade Descrição (*Description*) para nomear os elementos de acordo com sua função pode-se aproveitar esta propriedade para numerar os elementos de acordo com o sentido de fluxo de forma crescente.

Com elementos numerados é possível saber se o sentido do escoamento do esgoto está correto, comparando-se a Elevação inferior da tubulação a montante com o Elevação superior da tubulação a jusante, onde ambos devem ser os mesmos.

O SMC também não permite criar fórmulas com operações entre propriedades do elemento. Há somente regras de comparação entre propriedades, o que não permite criar uma regra que verifique automaticamente a declividade. As regras (*rules*) podem ser alteradas, porém a customização é limitada. As regras gerais utilizam parâmetros fixos, em que há um componente base que é analisado em relação a outro elemento ou com relação a um valor absoluto. Pode-se escolher o operador entre eles, porém criar fórmulas livres com diferentes propriedades de cada elemento não é possível. Por isso, é utilizada uma ferramenta paralela para fazer a verificação.

Deve-se lembrar de que estes métodos além dos limites do SMC são trabalhosos, não práticos e perde-se um pouco o conceito inicial desta pesquisa de automatizar o processo de verificação de regras.

A regra 1 analisa a declividade mínima. A declividade mínima de ramais e coletores de esgoto sanitário deve ser igual ou superior a 1% para tubulações de diâmetros iguais ou superiores a 100 mm e 2% para tubulações de diâmetro igual ou inferior a 75 mm. A verificação 2 analisa a declividade máxima, que não deve ultrapassar 5% nas tubulações de esgoto sanitário.

A verificação das declividades máxima e mínima é feita por meio da equação (2).

Assim como na regra 1, na regra 2 ocorre o mesmo problema da declividade negativa na análise desta verificação, ou seja, não é possível verificar se o sentido do escoamento da rede de esgoto sanitário é o correto, uma vez que o SMC não permite fazer esta distinção. Portanto, ambas as verificações devem ser analisadas em ferramentas separadas do SMC.

Estas ferramentas utilizam a mesma lógica e os mesmos parâmetros, porém somente no final da verificação há a diferenciação para verificação de declividade mínima e máxima. Deste modo, inicialmente, é necessário saber como o modelo é representado na linguagem IFC.

Todas as informações de um elemento ocorrem por meio de apontamentos para cada tipo de propriedade do mesmo na linguagem IFC. Um tubo, por exemplo, é definido por meio de um IFCFLOWSEGMENT. Na Figura 6.14 está a representação da herança de uma entidade IFCFLOWSEGMENT, ou seja, a hierarquia e os componentes que a compõem.

Figura 6.14 – Herança da entidade IFCFLOWSEGMENT

Fonte: buildingSMART (2014)

A partir das relações indicadas na entidade IFCFLOWSEGMENT obtém-se todas as informações e propriedades de um elemento. O IFCRELDEFINEBYPROPERTIES relaciona o elemento em IFCFLOWSEGMENT com os IFCPROPERTYSETs que fazem parte deste elemento.

Os IFCPROPERTYSETs são recipientes que contêm as propriedades que estão em diversas IFCPROPERTYSINGLEVALUE por meio de uma árvore de propriedades, onde cada IFCPROPERTYSINGLEVALUE contém diversas propriedades divididas entre as diversas abas do Solibri, as propriedades são interpretadas de acordo com seu atributo nome.

As informações apresentadas nas abas do Solibri estão divididas em: *Identification, Location, Quantities, Constraints, Dimensions, Identity Data, Mechanical, Other, Phasing, Plumbing, Text, Mechanical – Flow, Text, Electrical – Loads, Electrical, Graphics, Insulation, Plumbing, Materials and Finishes, Profile e Classification.*

A propriedade Declividade (*Slope*) está, em geral, localizada na aba Restrições (*Constraints*). Esta propriedade retira a necessidade de realizar seu cálculo para fazer a verificação das regras em questão.

A ferramenta proposta na análise da regra de verificação 1, busca todas as tubulações de esgoto no modelo analisado e verifica se as mesmas obedecem a declividade mínima, que é a regra que engloba todas tubulações de esgoto independente do diâmetro. Para realizar a verificação pelo diâmetro há a necessidade de primeiramente identificar o diâmetro de cada tubulação no descritivo fonte textual em IFC para verificar a declividade mínima recomendada pela NBR 8160 (ABNT, 1999) e, em seguida, aplicar a ferramenta proposta.

Na elaboração da ferramenta, inicialmente é feita a busca pelas tubulações de esgoto no modelo analisado, que são os elementos contidos na entidade IFCFLOWSEGMENT. Para identificar se o elemento é uma tubulação de esgoto, no IFCFLOWSEGMENT, há a indicação no nome, tipo ou descrição do tipo de tubulação. No exemplo a seguir pode-se observar que este elemento é um Tubo tipo: esgoto (*Pipe Types:Waste*):


```
#59927 = IFCFLOWSEGMENT('2h405XijT83A$BX7w5ki4L',#52,'Pipe
Types:Waste:582947',$,'Pipe Types:Waste:563634',#59912,#59925,'582947');
```

A ferramenta procura por todos os elementos IFCFLOWSEGMENT que sejam de esgoto. Com o código do IFCFLOWSEGMENT, que neste caso é o “#59927”, procura-se este código até encontrá-lo dentro das propriedades de um IFCRELDEFINESBYPROPERTIES:

```
#59969=
IFCRELDEFINESBYPROPERTIES('1OD2kjJf1cxFpJ$GEkZay',#52,$,$,(#59927),#5
9967);
```

Em seguida, seleciona-se a sexta informação dentro do IFCRELDEFINESBYPROPERTIES, que neste caso é #59967. O próximo passo é procurar este código, que se refere a um IFCPROPERTYSET, ou seja, onde estão armazenadas as informações das propriedades do elemento em questão.

Quando encontrado, verificar se a terceira informação do IFCPROPERTYSET é *Constraints*, se for verdadeiro continua-se a verificação e seleciona-se a sexta informação do segundo parênteses. Caso não seja *Constraints*, volta-se ao processo de busca, procurando outro IFCRELDEFINESBYPROPERTIES da verificação acima. Novamente seleciona-se a sexta informação e procura até encontrar algum IFCPROPERTYSET relacionado que seja *Constraints*. No caso exemplificado, o IFCPROPERTYSET referente à *Constraints* é o seguinte:

```
#59967=IFCPROPERTYSET('34HChBZcX2mPFneVArRyLq',#52,'Constraints',$,(#5
5013,#59936,#55000,#54982,#59943,#59946,#59954));
```

A sexta informação do segundo parênteses é #59946, conforme exemplo anterior. A última busca realizada é por este código. Quando encontrado, verificar se a primeira informação deste IFCPROPERTYSET é *Slope*, que significa Declividade. Caso positivo, a terceira informação deste item é um IFCREAL com um

valor entre parênteses. Este valor é a declividade desta tubulação, conforme pode-se verificar no exemplo a seguir:

#59946=

IFCPROPERTYSINGLEVALUE('Slope',\$,IFCREAL(0.00500000000000937),\$);

Para finalizar a verificação, analisa-se se o valor da declividade é maior que 1%, ou seja, maior que a declividade mínima. A declividade neste caso é 0,00500000000000937, ou seja, aproximadamente 0,5%, que não satisfaz a condição desta verificação.

A regra 2 utiliza a mesma lógica da regra 1, porém no final é verificado se a declividade encontrada é menor que 5%, a declividade máxima.

Na Figura 6.15 está a representação das iterações utilizadas para elaboração da ferramenta.

Figura 6.15 - Representação das iterações para elaboração da ferramenta

Fonte: elaborado pelo autor (2015)

O conceito de automatizar o processo de verificação para facilitar a obtenção de projetos corretos e com maior qualidade de informações, somente torna-se completo quando os erros identificados são corrigidos.

No SMC é possível analisar cada item da verificação que teve resultado incorreto e observar com a representação gráfica dos erros para que se possa alterar o projeto de modo a atender a regra em questão. Quando a verificação é feita fora do SMC, perde-se a interface gráfica, que permite uma visualização fácil para a alteração dos projetos de modo que fiquem conforme as regras propostas.

O SMC permite visualizar o elemento desejado por meio de seu GUID. Digitando na busca no canto superior direito, conforme ilustrado na Figura 6.16, é possível isolar o componente desejado e, deste modo, saber qual o elemento do projeto necessita alterações para se adequar às regras propostas.

Figura 6.16 – Identificação de um elemento através de seu GUID

Fonte: acervo do autor (2015)

b) Verificação do parâmetro diâmetro e de elementos conectados um ao outro

Nas regras de verificação da Classe 1 também haviam as regras referentes ao parâmetro diâmetro, porém, as regras deste item necessitam de outras informações

mais complexas para que sejam analisadas. Neste item também são abordadas verificações de elementos conectados um ao outro. As recomendações que se enquadram nesta verificação são:

- Recomendação 3: Diâmetro a montante menor ou igual a jusante nas tubulações
- Recomendação 16: Diâmetro a montante maior ou igual que a jusante nas tubulações
- Recomendação 5: Diâmetro do ramal de ventilação de esgoto menor ou igual ao do ramal de esgoto ou de descarga
- Recomendação 7: Coluna de ventilação
- Recomendação 19: Coluna de ventilação com diâmetro igual ou superior ao da coluna de distribuição de onde deriva

As regras das recomendações 3 e 16 não são possíveis de serem verificadas no SMC pelas mesmas razões das verificações 1 e 2. O SMC não permite saber qual extremidade da tubulação é montante e qual é jusante, pois não é possível obter informações com relação ao sentido do escoamento. O SMC permite utilizar os parâmetros de cota inferior e cota superior das tubulações para verificação desta regra.

A regra 5 pode ser verificada pela comparação de diâmetro entre as tubulações supondo que a declividade esteja correta, ou seja, considerando-se que a cota superior esteja a montante e a cota inferior esteja a jusante de cada tubulação. Caso o sentido do escoamento esteja invertido, os resultados desta verificação serão incorretos e levarão à falsa análise de que o projeto está correto.

A regra 16 é semelhante à regra 3, porém contrária, pois no esgoto sanitário o diâmetro da tubulação a montante deve ser menor ou igual ao o diâmetro da tubulação a jusante e no caso da água deve ser maior ou igual. Além disso, no início da ferramenta da regra 3 de esgoto é feita a seleção de tubulações de esgoto e, neste caso, é feita a seleção de tubulações de água. Portanto, a verificação da regra 16 segue os mesmos parâmetros já apresentados na verificação 3 de esgoto sanitário.

Uma forma de se identificar o sentido do escoamento é por meio do input de mais dados ao modelo. Por exemplo, pode-se numerar em ordem crescente a tubulação de montante a jusante de cada sistema de tubulações, porém isso geraria um grande volume de trabalho para numerar todo o caminhamento das tubulações, perdendo-se assim o objetivo desta pesquisa de automatizar o processo de verificação de regras de boas práticas de projetos hidráulico-sanitários.

Outro modo de tentar identificar o sentido do escoamento do esgoto seria identificar as tubulações de acordo com as distâncias entre a tubulação e o aparelho sanitário da qual é derivada. A princípio, a extremidade da tubulação mais próxima ao aparelho sanitário seria a extremidade a montante e a mais próxima ao coletor predial seria a extremidade a jusante. Porém, este método de classificação pode resultar em diversos erros, pois se a tubulação tiver mudanças de direção, nem sempre esta regra será válida, o que não permite este tipo de classificação.

Uma alternativa com menos exceções de verificação e que automatize este processo é elaborar uma ferramenta fora do SMC. Nas regras 3 e 16 comparam-se os diâmetros de tubulações em sequência. Para elaborar uma ferramenta capaz de fazer este comparativo, é preciso que seja feito inicialmente o processo de varredura dos elementos conectados um ao outro, comparando-se os seus diâmetros, iniciando cada subsistema em cada aparelho sanitário existente.

Esta regra é dividida em duas partes. A primeira parte da verificação identifica a ordem das tubulações e suas conexões de acordo com o sentido do escoamento. Para realizar esta ferramenta são utilizados os conceitos do IFC para armazenamento de informações de um modelo.

Para relacionar dois elementos, a linguagem IFC utiliza-se o `IfcRelConnectsPort`. O `IfcRelConnectsPort` conecta os `IfcFlowSegments` de cada elemento que está conectado. Os `IfcDistributionPorts` são conectados ao `IfcFlowSegment` por meio do `IfcRelConnectsPortToElement`. Estas relações estão representadas na Figura 6.17.

No exemplo a seguir, são realizadas as iterações necessárias para descobrir as tubulações e conexões de um subsistema de esgoto sanitário, iniciado por um aparelho sanitário, que é representado por um IFCFLOWTERMINAL:

```
#28561= IFCFLOWTERMINAL('2h405XijT83A$BX7w5ki4q',#52,'M_Shower Stall - Rectangular:865 mmx815 mm - Private:865 mmx815 mm - Private:582914',$,'865 mmx815 mm - Private',#28560,#28555,'582914');
```

Para identificar as tubulações e conexões que fazem parte deste subsistema que inicia no IFCFLOWTERMINAL, ou seja, no aparelho sanitário, deve-se procurar o IFCRELCONNECTSPORTTOELEMENT conectado a ele através da sexta informação de seus parênteses que contém o código do IFCFLOWTERMINAL analisado (#28561):

```
#986654= IFCRELCONNECTSPORTTOELEMENT('2P4RCJ_tz73wNwYPADPbsF',#52,$,$,#986653,#28561);
```

O IFCRELCONNECTSPORTTOELEMENT conecta o elemento, que no caso é um IFCFLOWTERMINAL, ao seu IFCDISTRIBUTIONPORT. A quinta informação do IFCRELCONNECTSPORTTOELEMENT contém o código do IFCDISTRIBUTIONPORT (#986653):

```
#986653= IFCDISTRIBUTIONPORT('2UMDWIUcv6XPMPcBHMQUIuF',#52,$,$,'IfcDistributionPort',$,$,SOURCE.);
```

Na sexta informação do IFCDISTRIBUTIONPORT é possível saber se este elemento é SINK ou SOURCE. Se for SINK ele está à jusante do outro elemento conectado a ele, caso seja SOURCE, ele está a montante do mesmo.

Em seguida, procura-se um IFCRELCONNECSPORTS que contenha o código do IFCDISTRIBUTIONPORT (#986653) na sexta posição:

#986655=

IFCRELCONNECTSPORTS('2hFE8JI4L3wBLnEmIcUHBF',#52,\$,\$,#986651,#986653,\$);

No IFCRELCONNECTS, a quinta e sexta informação se referem aos IFCDISTRIBUTIONPORTs dos elementos conectados. A sexta informação é a referente ao elemento IFCFLOWTERMINAL de código #28561 e a quinta informação é referente ao IFCDISTRIBUTIONPORT do outro elemento que está conectado a este.

#986651=

IFCDISTRIBUTIONPORT('3KJBACniL5ZPXb\$6VUOelq',#52,\$,\$,'IfcDistributionPort',\$,\$,.SINK.);

Na sexta informação do IFCDISTRIBUTIONPORT é possível saber que este elemento é SINK, lembrando que o elemento a ele conectado é um SOURCE. A relação de conexão de elementos sempre segue a lógica de SINK e SOURCE. Inicia-se com um SOURCE, que é ligado a um SINK, e este elemento que é SINK nesta relação, torna-se um SOURCE na relação com o outro elemento ao qual também é conectado. Este IFCDISTRIBUTIONPORT é conectado por seu código #986651 a um IFCRELCONNECTSPORTTOELEMENT, que é encontrado na quinta informação deste último:

#986652=

IFCRELCONNECTSPORTTOELEMENT('1Uy49Ye0bEchd0XBxuULK5',#52,\$,\$,#986651,#86209);

Em seguida, procura-se a sexta informação (#86209) do IFCRELCONNECTSPORTTOELEMENT em uma linha que inicie com este código. Esta linha pode um IFCFLOWSEGMENT ou um IFCFLOWFITTING:

#86209=

IFCFLOWSEGMENT('2h405XijT83A\$BX7w5ki5j',#52,'Pipe Types:Waste:583003',\$,'Pipe Types:Waste:563634',#86196,#86207,'583003');

Este elemento que tem o GUID *'2h405XijT83A\$BX7w5ki5j'* é o elemento conectado ao IFCFLOWSEGMENT com GUID *'2h405XijT83A\$BX7w5ki4q'*. Para identificar o próximo elemento deste subsistema, deve-se iniciar novamente o processo com este novo elemento descoberto, ou seja, este IFCFLOWSEGMENT com GUID *'2h405XijT83A\$BX7w5ki4q'* será o novo elemento SOURCE e deve-se procurar através destas iterações o outro novo elemento que será o SINK deste. Desta forma, é possível identificar todos os elementos que fazem parte deste subsistema, partindo do aparelho sanitário seguindo o fluxo do escoamento do esgoto. Cada aparelho sanitário será o início de cada subsistema.

Na Figura 6.18 está a representação das iterações utilizadas para elaboração da ferramenta que verifica as tubulações de acordo com o sentido do escoamento nas mesmas.

Figura 6.18 – Iterações para indicação das tubulações de acordo com o sentido do escoamento das mesmas em um modelo IFC

Fonte: elaborado pelo autor (2015)

O resultado da primeira parte da verificação é a sequência das tubulações de acordo o sentido do escoamento. Para a regra 16 as tubulações estão em ordem decrescente em relação ao escoamento da água e para a verificação 3 em ordem crescente em relação ao escoamento do esgoto sanitário.

Na segunda parte da verificação é feita a análise dos diâmetros. Os dados da primeira parte da ferramenta são utilizados para a comparação dos diâmetros. Para a regra 3 utiliza-se duas tubulações por verificação para comparar seus diâmetros, onde o diâmetro da tubulação a montante deve ser menor ou igual à tubulação a jusante. Na regra 16 compara-se duas tubulações em sequência, em ordem decrescente da lista encontrada na primeira parte da ferramenta e o diâmetro da tubulação à montante deve ser maior ou igual à tubulação a jusante. Esta comparação de diâmetros deve ser realizada a cada duas tubulações em sequência, conforme resultado da primeira parte da verificação, além de ser necessário realizá-la para cada subsistema também.

Estas ferramentas que fazem parte destas verificações são um modo eficaz de automatizar estas regras de verificações já que o SMC se mostrou incapaz de verificá-las. O conceito de estrutura das informações em um modelo IFC são bem definidas e faz com que seja possível obter informações diversas do modelo.

A regra de verificação da recomendação 5 também analisa diâmetros de elementos, porém, esta verificação compara diâmetros de elementos que estão interligados um ao outro, o que eleva o nível de complexidade de elaboração desta regra de verificação.

Na recomendação 5 é necessário verificar se o diâmetro do ramal de ventilação é menor ou igual ao do ramal de descarga ou de esgoto. Para isto utiliza-se a regra SOL/230.

Para o desenvolvimento desta verificação é necessário utilizar uma Regra de Filtragem, cujo conceito está apresentado no item 6.2.1.

A Regra de Filtragem verifica se a tubulação do ramal de ventilação é do mesmo sistema que o ramal de esgoto ou de descarga que se deseja verificar, pois segundo a NBR 8160 (ABNT, 1999), o ramal de ventilação é o “tubo ventilador que interliga o desconector, ou ramal de descarga, ou ramal de esgoto de um ou mais aparelhos sanitários a uma coluna de ventilação ou a um tubo ventilador primário”.

O filtro dos componentes a se verificar é se ramal de descarga ou de esgoto é interligado ao ramal de ventilação, para que assim continue a verificação em questão, sendo esta a Regra de Filtragem. Para isto, utiliza-se a regra SOL/23. Porém, o resultado dessa sequência de regras (*rules*) resulta em todos os ramais de descarga ou de esgoto e os ramais de ventilação a eles interligados. Quando se realiza a comparação de diâmetros do ramal de ventilação de esgoto com o do ramal de esgoto ou de descarga utilizando a regra SOL/230, a regra não compara o diâmetro entre os componentes interligados entre si, a regra irá comparar o diâmetro de cada ramal de descarga ou esgoto com todos os ramais de ventilação que passaram no filtro. Desta forma, vê-se a necessidade de se saber a qual subsistema cada componente faz parte.

A ferramenta da primeira parte da regra 3 é capaz de identificar e posicionar as tubulações de montante a jusante de acordo com o escoamento do esgoto sanitário. Assim, ela pode ser utilizada nesta regra para auxiliar na identificação de qual ramal de descarga ou esgoto deve ter seu diâmetro comparado com o diâmetro de qual ramal de ventilação. E para cada ramal de descarga ou esgoto conectado a um ramal de ventilação deve ter seus diâmetros comparados. Quando o diâmetro do ramal de ventilação de esgoto for menor ou igual ao do ramal de esgoto ou de descarga, a verificação é verdadeira.

Na regra de verificação da recomendação 7 há duas análises a serem realizadas na coluna de ventilação. A primeira análise é que todas as tubulações que pertençam ao mesmo subsistema com a descrição ‘coluna de ventilação’ tenham o mesmo diâmetro. Ou seja, diâmetro uniforme.

Utilizar a regra SOL/230 para filtrar as tubulações que fazem parte da coluna de ventilação e verificar se o diâmetro é uniforme não permite resultados corretos, pois

a coluna de ventilação de cada subsistema deve ter diâmetro uniforme e não que todas as colunas de ventilação de uma edificação devem ser uniformes. Cada conjunto de tubulações que componham a coluna de ventilação de um subsistema deve ter o mesmo diâmetro.

Para identificar os subsistemas faz-se uso novamente da ferramenta da primeira parte da regra verificação da recomendação 3. Nos resultados da ferramenta seleciona-se somente as tubulações que sejam coluna de ventilação e em seguida, verifica-se se todas têm o mesmo diâmetro, ou seja, tenham diâmetro uniforme. Ou pode-se analisar se as verificações que não passaram no SMC fazem parte do mesmo subsistema. Caso seja do mesmo subsistema, esta verificação é correta, mas indica que há problemas no projeto e caso não seja do mesmo subsistema, ela pode ser descartada da análise.

A segunda análise da recomendação 7 também necessita da ferramenta da primeira parte da regra 3, pois é necessário realizar a verificação separadamente por subsistema. Para cada subsistema procura-se o último trecho de tubulação que representa a coluna de ventilação e verifica-se se a tubulação a jusante desta é uma tubulação com a descrição ‘subcoletor’ ou ‘tubo de queda’ e se for correta, a verificação foi positiva.

Outra recomendação que verifica diâmetro de elementos é recomendação 19. Esta regra também emprega Gatekeeper Rules. A primeira é filtrar as tubulações de água e, em seguida, as tubulações que contenham a descrição ‘coluna de ventilação’. Após este passo, filtrar as tubulações que encostam nas tubulações com esta descrição e que tenham a descrição “coluna de distribuição”, utilizando as regras SOL/23 e SOL/230. Após estes filtros, comparar as tubulações com a descrição “coluna de ventilação” e verificar se seus diâmetros são iguais ou superiores aos das tubulações com a descrição “coluna de distribuição” utilizando a regra SOL/230.

A regra 19 compara os diâmetros de todas as colunas de ventilação com todas as colunas de distribuição, necessitando de uma análise por subsistema para esteja correta. Desta forma, utiliza-se mais uma vez a ferramenta da primeira parte da

regra 3 para verificar os subsistemas presentes no projeto e descartam-se as verificações que deram resultado negativo e não fazem parte do mesmo subsistema.

c) Verificação de distância e comprimento de componentes

Há uma recomendação que analisa dois fatores, os parâmetros distância e o comprimento de um componente:

- Recomendação 6: Prolongamento do tubo de ventilação
- Recomendação 11: Caixas e componentes de inspeção
- Recomendação 12: Distância entre ramal de descarga e de esgoto e dispositivos de inspeção
- Recomendação 13: Distância entre ligação do coletor predial e dispositivo de inspeção mais próximo
- Recomendação 14: Distância mínima entre caixa de inspeção e tubo de queda

Na primeira etapa da regra de verificação da recomendação 6 é necessário que os espaços da edificação estejam bem definidos, principalmente o espaço “cobertura”. Caso não haja esta identificação é necessário identificar este espaço para dar continuidade a esta regra.

Além disto, a cobertura deverá ter a indicação se é usada somente como cobertura ou tem outros fins: “cobertura” ou “cobertura com outros fins”, por exemplo, pois para verificar esta regra, o prolongamento do tubo de ventilação ou coluna de ventilação varia de acordo com a utilização da cobertura. O prolongamento, além de cobertura, que está localizado no Espaço (Space) “cobertura com outros fins” deve ser maior que 2 metros e, caso esteja em um espaço “cobertura”, deve ser maior que 0,3 metros. Para isto, utiliza-se novamente a regra SOL/230.

Na segunda etapa da regra de verificação da recomendação 6 é necessário verificar a distância entre a extremidade aberta do mesmo em relação a janelas, portas ou vãos. A regra SOL/222 é capaz de verificar distâncias entre componentes, porém

não permite que a distância seja calculada em relação a certo ponto do componente em questão, portanto, não permite que seja calculada a extremidade da tubulação em relação a outros componentes.

Para realizar esta verificação, é levantada a distância mínima entre componentes, medindo a distância em 3D. Esta distância é calculada em relação ao centro do tubo ventilador até o componente (janelas, portas ou vãos) que se deseja avaliar. A distância da extremidade aberta até o componente é maior que esta verificação proposta, onde é medida a distância do centro da tubulação, portanto se esta distância passar nesta verificação, a distância medida a partir da extremidade aberta também passa. Caso não atinja a distância mínima de 4 metros destes componentes, por meio da verificação no SMC, pode ser que a distância correta medida pela extremidade do tubo ventilador não passasse na verificação. Pensando nesta situação, pode-se realizar um rápido cálculo em uma simples planilha para verificar se esta tubulação realmente não respeita a distância mínima de 4 metros.

Na Figura 6.19 estão representadas as distâncias entre o tubo ventilador e os componentes em análise, sendo:

- A – Distância entre o componente e a extremidade aberta do tubo ventilador;
- B – Distância entre o componente e o centro do tubo ventilador;
- C – Distância em 2D entre o componente e tubo ventilador;
- D – Metade do comprimento do tubo ventilador.

Figura 6.19 – Distâncias entre componentes

Fonte: elaborado pelo autor (2015)

Utilizando a geometria dos dados, tem-se como determinar os dados que faltam. A eq. (3) calcula o valor de E, necessário para determinar A (distância entre o componente e a extremidade aberta do tubo ventilador):

$$C^2 + E^2 = B^2 \quad (3)$$

A partir da regra SOL/222, pode-se criar a regra para verificar a distância em 2D (C) entre o tubo ventilador e o componente analisado (janela, porta ou vão). Como esta distância é menor que B, a verificação dos elementos que não passam na verificação utilizando a distância em 3D estarão presentes nos elementos que não passam na verificação em 2D.

Quando um elemento não passa em uma verificação de distância mínima, o SMC indica qual a real distância que não passa na distância mínima. Desta forma, é possível obter C e B.

Com o valor de E, pode-se descobrir o valor de A por meio da eq. (4):

$$(D + E)^2 + C^2 = A^2 \quad (4)$$

A partir das propriedades do tubo ventilador pode-se obter o diâmetro do tubo ventilador, sendo D a metade deste valor. Desta forma, é possível calcular A.

A ferramenta da Figura 6.20 auxilia nesta verificação. Basta preencher os dados nas células em cinza, que os cálculos apresentados acima serão feitos e a distância dos itens que não passaram na verificação do SMC, poderão ser calculados utilizando a distância correta.

Figura 6.20 – Ferramenta – Regra 6

FERRAMENTA - REGRA 6	
Tubo de ventilação	<input type="text"/>
GUID	<input type="text"/>
Diâmetro (m)	<input type="text"/>
Componente (janela, vão ou porta)	<input type="text"/>
GUID	<input type="text"/>
B – Distância entre o componente e o centro do tubo ventilador	
<input type="text"/>	
C – Distância em 2D entre o componente e tubo ventilador	
<input type="text"/>	
D – Metade do comprimento do tubo ventilador	
<input type="text" value="0"/>	
RESULTADOS	
A – Distância entre o componente e a extremidade aberta do tubo ventilador	
<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="FALSO"/>

Fonte: elaborado pelo autor (2015)

A regra de verificação da recomendação 11 analisa a distância entre dispositivos de inspeção, que não deve ser maior que 25 metros. Para criação desta regra iniciou-se utilizando a regra (*rule*) SOL/222, que permite verificar distâncias mínimas entre dois componentes, conforme ilustrado na Figura 6.21. Para medir a distância pode-se escolher entre a distância em 2D, 3D, distância em somente x, y ou z (coordenadas cartesianas).

Figura 6.21 – Distância entre dois componentes de inspeção

Support Tag SOL/222/3.0

Parameters Revert Changes Severity Parameters

Distance Calculation

☒ Check Maximum Distance
☐ Check Minimum Distance

Distance: 2.50 m
 Distance Calculation Method: Minimum 3D

Space or Space Group Containment

Space or Space Group Containment: Ignore Space or Space Group
 Space Group Type:

Source Component

Source Components to be Checked

State	Component	Property	Operator	Value
Include	Object	Description	Contains	'inspeção'
Include	Object	Description	Contains	'inspeção'

Target Component

Target Components to be Checked

State	Component	Property	Operator	Value
Include	Any	Discipline	One Of	[Special Pipi...

Fonte: acervo do autor (2015)

O problema em analisar esta verificação desta maneira é que se acaba verificando todas as distâncias entre todos os dispositivos de inspeção do sistema, o que não é correto. O correto é verificar se um dispositivo de inspeção esteja a menos de 25 metros do próximo dispositivo de inspeção da rede.

Uma possibilidade de garantir a verificação de dispositivos de um mesmo subsistema é utilizar a primeira parte da ferramenta da regra 3, que dá como resultado um arquivo com as tubulações e conexões de montante para jusante para cada subsistema e, em seguida, verificar separadamente cada subsistema. Ou conferir se as verificações que não passaram na verificação do SMC referem-se ao mesmo subsistema ou não. Caso seja do mesmo subsistema, considerar como um item a corrigir, caso contrário ignorar o resultado dado pelo SMC.

Para elaborar a verificação da recomendação 12 utiliza-se a mesma lógica da regra 6, com a regra SOL/222, em que os componentes-fonte são todos os tubos (*Pipes*) que contêm na propriedade descrição (*Description*) 'ramal de descarga' e 'ramal de esgoto' e os componentes-alvo são os objetos (*Objects*) que contêm em sua descrição 'inspeção'.

Utiliza-se esta regra para checar se a distância máxima (*Maximum Distance*) entre os componentes-fonte e componentes-alvo não ultrapassa 10 metros de distância. E

o Método de cálculo de distância (*Distance Calculation Method*) é pela distância em 3D.

Assim como as regras 11 e 12, a regra da recomendação 13 utiliza a regra SOL/222, em que os componentes-fonte são tubos (*Pipes*) com a descrição ‘coletor predial’ e os componentes-alvo são os objetos (*Objects*) com a descrição ‘inspeção’. A distância máxima (*Maximum Distance*) entre os componentes é de 15 metros e o método de cálculo de distância é o mesmo da regra 12.

Na elaboração da regra 14 também é utilizada a regra SOL/222. Neste caso, é verificada a distância mínima entre o componente tubo (*Pipe*) com descrição ‘Tubo de queda’ e o objeto (*Object*) com a descrição ‘Caixa de inspeção’, que deve ser maior que 2 metros conforme ilustrado na Figura 6.22.

Figura 6.22 – Regra 6

The screenshot displays the configuration window for 'Regra Esgoto'. The 'Info' tab shows the rule name, description ('Distância mínima entre caixa de inspeção e tubo de queda'), author (Solibri, Inc.), version (3.0), date (2015-02-27), and support tag (SOL/222/3.0). The 'Parameters' tab is active, showing 'Distance Calculation' settings: 'Check Minimum Distance' is selected, with a 'Distance' of 2.00 m and 'Distance Calculation Method' set to 'Minimum 3D'. A 3D diagram illustrates a red pipe and a blue box with a double-headed arrow indicating the distance. The 'Source Component' section lists 'Pipe' and 'Object' components to be checked. The 'Target Component' section lists 'Any' and 'Discipline' components to be checked.

State	Component	Property	Operator	Value
Include	Pipe	Description	Matches	'Tubo de queda'
Include	Object	Description	Matches	'Caixa de insp...

State	Component	Property	Operator	Value
Include	Any	Discipline	One Of	[Special Pipi...

Fonte: acervo do autor (2015)

Assim como a regra 11, as regras 12, 13 e 14 apresentam o mesmo problema para fazer a análise de componentes de subsistemas diferentes. Portanto, deve-se também realizar uma análise por meio da ferramenta da primeira parte da regra 3

para descartar as verificações que deram resultado negativo e não fazem parte do mesmo subsistema.

d) Verificação da existência de elementos no sistema

A recomendação referente à verificação da existência de elementos no sistema é:

- Recomendação 23: Coluna exclusiva para válvulas de descarga

A recomendação 23 verifica se há coluna exclusiva para válvulas de descarga. A primeira etapa para verificar esta regra é identificar as válvulas de descarga no sistema e as colunas que estão ligadas a elas através da regra SOL/23. Em seguida selecionar os elementos que foram filtrados a partir desta regra e organizar conforme Figura 6.23:

Figura 6.23 - Ferramenta – Regra 23

Ferramenta - Regra 23			
	Válvula de descarga	Coluna	Repetições
	GUID		
Elemento 1			0
Elemento 2			0
Elemento 3			0
Elemento 4			0
Elemento 5			0
Elemento 6			0
Elemento 7			0
Elemento 8			0
Elemento 9			0
Elemento 10			0
Elemento 11			0
Elemento 12			0
Elemento 13			0
Elemento 14			0
Elemento 15			0
Elemento 16			0
Elemento 17			0
Elemento 18			0
Elemento 19			0
Elemento 20			0

Fonte: elaborado pelo autor (2015)

Na ferramenta da Figura 6.20 deve-se colocar os GUIDs das válvulas de descarga e das colunas pelas quais são alimentadas de acordo com os itens filtrados pela verificação do SMC. Assim, a ferramenta calcula o número de repetições da coluna, caso uma coluna seja a mesma para mais de uma válvula de descarga será detectado. Desta maneira é possível fazer a análise desta verificação.

e) Verificação referente à localização de elementos

Há duas recomendações relacionadas à localização de elementos:

- Recomendação 20: Localização da ligação da tubulação de ventilação com a coluna de distribuição
- Recomendação 18: Registro de gaveta no barrilete, nas colunas de distribuição e nos ramais

Para a verificação da recomendação 18, através da regra SOL/23 são feitos três filtros dos registros de gaveta e as tubulações a ele ligadas, que podem ser: barrilete, coluna de distribuição ou ramal. De acordo com o tipo de tubulação a verificação é diferente. Caso a tubulação seja um barrilete, o registro de gaveta deve estar posicionado no trecho que alimenta o próprio barrilete. No caso da coluna de distribuição, ele deve estar posicionado a montante do primeiro ramal e, caso seja um ramal, ele deve estar posicionado a montante do primeiro sub-ramal.

Esta verificação é auxiliada pela ferramenta ilustrada na Figura 6.24 e, de acordo com o tipo de tubulação, ela pode ser realizada visualmente por meio do modelo no SMC ou por meio do resultado da ferramenta da primeira parte da regra 16. Na saída da ferramenta da primeira parte da regra 16 são apresentadas as tubulações separadas por subsistemas. Assim, pode-se verificar a posição do registro de fechamento dependendo do tipo de tubulação e descobrir se os elementos estão posicionados corretamente ou não.

6.25 - Diagrama para do funcionamento de regras de verificação em regras da Classe 4

Fonte: elaborado pelo autor (2015)

Nesta pesquisa não são propostas regras de verificação que sejam da Classe 4. E como elas requerem maior complexidade na verificação de regras, o SMC não é capaz de verificar tais regras através de suas atuais ferramentas.

6.4 RESUMO DAS REGRAS DAS VERIFICAÇÕES DE RECOMENDAÇÕES

Na Tabela 6.2, 6.3 e 6.4 estão as regras das recomendações criadas com as regras utilizadas. Além disso, estão identificadas quais verificações necessitam de ferramentas adicionais para completar as verificações.

Tabela 6.2 – Resumo das verificações das recomendações de sistema predial de esgoto sanitário

Sistema predial de esgoto sanitário			
	Regra	Rulesets utilizadas	Ferramenta adicional
1	Declividade mínima	-	SIM
2	Declividade máxima de 5%	-	SIM
3	Diâmetro à montante menor ou igual à jusante nas tubulações	-	SIM
4	Ramal de esgoto do piso térreo	SOL/23	
5	Diâmetro do ramal de ventilação de esgoto menor ou igual ao ramal de esgoto ou de descarga	SOL/230; SOL/23	
6	Prolongamento do tubo de ventilação	SOL/230; SOL/222	SIM
7	Coluna de ventilação	SOL/230	
8	Distância máxima de desconector ao tubo ventilador	SOL/23; SOL/222	
9	Comprimento do coletor predial		
10	Diâmetro mínimo do coletor predial	SOL/230	
11	Caixas e componentes de inspeção	SOL/222	SIM
12	Distância entre ramal de descarga e de esgoto e dispositivos de inspeção	SOL/222	SIM
13	Distância entre ligação do coletor predial e dispositivo de inspeção mais próximo	SOL/222	SIM
14	Distância mínima entre caixa de inspeção e tubo de queda	SOL/23	
15	Diâmetro mínimo do ramal de descarga	SOL/230; SOL/23	

Tabela 6.3 - Resumo das verificações das recomendações de sistema predial de água fria

Sistema predial de água fria			
Regra		Rulesets utilizadas	Ferramenta adicional
16	Diâmetro a montante maior que a jusante nas tubulações	-	SIM
17	Tubulação de água em cota superior à da tubulação de esgoto	SOL/222	
18	Registro de gaveta nas colunas	SOL/23	SIM
19	Coluna de ventilação com diâmetro igual ou superior ao da coluna de distribuição de onde deriva	SOL/23; SOL/230	
20	Localização da ligação da tubulação de ventilação com a coluna de distribuição	-	SIM
21	Diâmetro do extravasor maior que diâmetro de entrada do reservatório	SOL/23; SOL/230	
22	Posição do extravasor nos reservatórios	SOL/23; SOL/230	SIM
23	Coluna exclusiva para válvulas de descarga	SOL/23	SIM
24	Posicionamento das tubulações de água fria	SOL/23	

Tabela 6.4 – Resumo das verificações das recomendações das regras de sistema predial de água quente

Sistema predial de água quente			
Regra		Rulesets utilizadas	Ferramenta adicional
25	Sifão térmico na tubulação de água quente	SOL/23	
26	Existência de tubo de respiro na saída da tubulação de água quente	SOL/230	
27	Proibido uso de tubo de respiro coletivo em edifícios	SOL/230	

7 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Analizando os modelos obtidos de diversos projetistas, nota-se que os modelos não são semelhantes quanto às informações neles contidos. Cada projetista projeta de forma distinta. Alguns modelos são extremamente detalhados, bem definidos e organizados, porém outros apresentam diversas inconsistências. Isto dificultou a verificação de regras, pois não há um padrão nos modelos e, inicialmente, foi necessário modificar os modelos trabalhados para que fosse possível realizar as verificações. Para analisar a verificação das recomendações, padronizaram-se todas as informações contidas no modelo de modo a facilitar a utilização dos mesmos nas verificações. Este fato mostra a necessidade de um projeto conciso e claro, projetado de forma correta desde o início.

Com relação à análise do SMC como ferramenta para a elaboração de regras de sistemas prediais, ele se mostrou restrito principalmente com regras de verificação de Classe 3 e 4, que exigem uma estrutura de dados mais complexa. As regras de verificação da Classe 1 e 2, que são regras onde os parâmetros estão contidos no modelo ou são facilmente calculados, foram possíveis de serem elaboradas no Solibri Model Checker.

As verificações de sistemas prediais hidráulicos sanitários são limitadas à adaptação de regras gerais do SMC, o que restringe o desenvolvimento destas regras de verificação e de validação propostas na pesquisa. No entanto, as verificações para acessibilidade, arquitetura, HVAC e elétrica, além da verificação de intersecções entre os diferentes sistemas se mostraram bastante amplas, com grande diversidade de tipos de verificações, abrangendo diversos pontos de cada um dos sistemas citados, conforme pode-se observar nas regras gerais presentes no SMC.

De um universo de vinte e sete regras de verificação de recomendações de projetos, foi possível o desenvolvimento de 44% utilizando somente o SMC como ferramenta, conforme apresentado na Figura 7.1. Dos 56% restantes, 41% das regras foram verificadas por meio de ferramentas externas ao SMC, pois o SMC não

possui as propriedades necessárias para tais verificações e 15% delas foram verificadas com a utilização do SMC em conjunto com ferramentas externas.

Gráfico 7.1 – Percentual de uso das ferramentas utilizadas para elaboração das regras

Fonte: elaborado pelo autor (2015)

As regras simples de comparação e de propriedades podem ser parametrizadas no SMC e apresentam resultados sólidos, de fácil visualização, o que permite uma fácil correção de projetos por parte dos projetistas.

Caso fossem criados conjuntos de regras mais específicos para sistemas prediais hidráulicos, como há para acessibilidade, por exemplo, as regras poderiam ser desenvolvidas dentro do próprio SMC, sem a necessidade de ferramentas auxiliares fora do *software*.

A linguagem IFC permite obter diversas informações do modelo, o que torna possível o desenvolvimento de diversas ferramentas para verificações de um projeto. No entanto, ainda há algumas restrições quanto à obtenção de alguns elementos. Além disso, a linguagem IFC está em constante evolução e diversas melhorias podem ocorrer na obtenção desses elementos.

Considerando-se que o IFC está em constante processo de atualização, verifica-se a possibilidade de a cada atualização haver a necessidade de alteração dos parâmetros dos programas computacionais de verificação.

Enfim, o SMC possui ferramentas e propriedades para a verificação de regras mais simplificadas e o IFC se mostrou uma opção viável quanto à automatização de verificação de regras, contendo uma base de dados extensa e com muitas funções e elementos definidos, que permite a criação de programas computacionais de verificação, complementando as limitações do SMC.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nesta pesquisa são identificados problemas ligados ao processo de execução e gerenciamento de projetos no setor da construção civil e mostra a necessidade de um fluxo contínuo de troca de informações e interdependência entre os envolvidos no processo. Uma das principais restrições do processo de execução de projetos está na falta de automatização e interoperabilidade de informações. Neste cenário o BIM surge como um meio de gerir este complexo processo.

O presente estudo tem como foco a verificação de projetos de sistemas prediais de esgoto sanitário, de água fria e de água quente de acordo com as normas brasileiras a fim de facilitar o trabalho do coordenador de projetos e no uso de ferramentas BIM para realizar estas verificações. O software BIM escolhido para isto é o Solibri Model Checker (SMC), uma ferramenta de code checking em uso no mercado da construção.

Conforme a classificação proposta por Solihin e Eastman (2015), pode-se dividir as regras de verificação em quatro diferentes classificações. A Classe 1 checa entidades e valores explícitos no modelo enquanto a Classe 2 requer um nível mais alto de informação que podem ser obtidas e calculadas indiretamente através das informações já contidas no modelo. Ambas as classes apresentam regras possíveis de serem elaboradas com a utilização do SMC. As Classes 3 e 4 são mais complexas e não podem ser desenvolvidas somente com as funções existentes no SMC, porém, mostra-se a necessidade de desenvolvimento destes tipos de regras pois elas apresentam um grande potencial para auxiliar a melhoria da qualidade e consistência dos modelos.

O SMC mostrou-se, em geral, um software limitado na verificação de regras em sistemas prediais hidráulicos sanitários. Deve haver um esforço juntamente com a empresa Solibri Inc. para que haja mais investimentos no desenvolvimento do SMC para atender às necessidades dos projetos de sistemas prediais hidráulicos sanitários. Ainda há pouco investimento nessa área e possíveis melhorias trariam muitos benefícios aos projetistas e aos coordenadores de projetos, que têm que lidar

com a complexa compatibilização de diversos sistemas, que atualmente ainda ocorre de forma manual, possibilitando a ocorrência de muitos erros.

Outro ponto a se considerar com relação ao uso do BIM é que, conforme resultados da pesquisa, observa-se também que não há uma padronização dos modelos BIM. Há uma grande diferença entre o nível de informação e a forma como elas são armazenadas em cada modelo. O modelo já deve vir com as propriedades corretas para que seja possível fazer certas verificações, ou seja, a informação já deve estar no parâmetro correto desde a sua modelagem. Há a necessidade de criação de um Guia de Modelagem de forma a padronizar os projetos modelados utilizando o conceito do BIM.

Há guias e padrões estabelecidos em diversos países e regiões: nos Estados Unidos, a buildingSMART alliance desenvolveu o National BIM Standard; na Austrália, a NATSPEC criou a NATSPEC National BIM Guide; na Finlândia há o Common BIM Requirement, mais conhecido como COBIM (FIATECH, 2013).

No Brasil há o Caderno de Apresentação de Projetos em BIM do Governo de Santa Catarina, porém ele não traz informações detalhadas de forma a ter um projeto preparado para se realizar a verificação de regras. O guia deve tratar da maturidade do modelo, riqueza de informações, informações gráficas, capacidade espacial, precisão de informações, interoperabilidade que funcione. Há a necessidade de estabelecer um guia reconhecido no país, que contenha dados de como elaborar um projeto BIM, que tenha as informações necessárias à verificação de regras.

Ademais, é necessário o desenvolvimento da interface entre os projetistas das diversas disciplinas de projeto e o coordenador BIM de modo a se obter um melhor fluxo das informações do projeto.

8.1 CONCLUSÕES

A presente pesquisa mostrou que é possível desenvolver regras de verificação de projetos de sistemas prediais sanitários hidráulicos no Solibri Model Checker, porém,

estas regras são limitadas a regras de comparações e análises simples de parâmetros.

Quando se necessitou de ferramentas externas, o modelo em IFC se mostrou eficaz para criar regras de verificação de projetos. A forma como o modelo em IFC armazena as informações necessárias faz com que seja possível criar as regras de verificação que não foram possíveis de serem analisadas no SMC.

O SMC ainda é incompleto quando se trata da análise de projetos de sistemas prediais hidráulicos, porém é possível desenvolvê-las uma vez que o modelo em IFC pode conter todas as informações necessárias às análises. Desta forma, verifica-se a necessidade de que os projetos BIM contenham as informações e obedeçam a padrões de modelagem para que possam ser utilizados na verificação de regras de forma eficiente.

8.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

O BIM se mostrou uma importante maneira de gerir grande parte das informações do modelo de uma construção. Ainda há muitas pesquisas e melhorias a serem feitas nos modelos BIM, principalmente quando se trata de sistemas prediais hidráulicos sanitários. Este trabalho mostra o potencial para a continuidade desta pesquisa com a utilização do BIM na verificação automática de regras.

Além disso, este trabalho poderá contribuir para outros trabalhos relacionados às normas brasileiras e à automatização de suas verificações através de softwares BIM, não somente para a área de sistemas prediais, como também para projetos de outros subsistemas de edifícios.

Pensando em uma perspectiva futura, esta pesquisa permite identificar possíveis oportunidades de desenvolvimento. Futuramente os modelos BIM poderiam ser tão completos com relação às informações nelas contidas que seria possível criar regras que verificariam o modelo quanto ao seu correto dimensionamento, sendo possível uma nova checagem dos cálculos de projeto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5626:** Instalação Predial de Água Fria. Rio de Janeiro, 1998.

_____. **NBR 7198:** Instalações Prediais de água Quente. Rio de Janeiro, 1993.

_____. **NBR 8160:** Sistemas Prediais de Esgoto Sanitário - Projeto e Execução. Rio de Janeiro, 1999.

_____. **Sistemas prediais de água fria e água quente - Procedimento.** ABNT/CB-02 PROJETO 02:146.03-003/1. Rio de Janeiro, 2015.

_____. **Níveis de normatização.** 2014. Disponível em: <<http://www.abnt.org.br/normalizacao/o-que-e/niveis-de-normalizacao>>. Acesso em: 25 de agosto de 2015.

_____. **Normalização – Definição.** 2014. Disponível em: <<http://www.abnt.org.br/normalizacao/o-que-e/o-que-e>>. Acesso em: 25 de agosto de 2015.

AOUAD, G. **Integrated Databases for the Design, Procurement and Management of Construction:** ICON Methodology. Salford: University of Salford, 1994.

AMORIM, S. V. **Metodologia para estruturação de sistemas de informação para projeto dos sistemas hidráulicos prediais.** 1997. 213 p. Tese de Doutorado. Departamento de Engenharia da Construção Civil, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.

Associação Brasileira dos Escritórios de Arquitetura (AsBEA). **Guia de boas práticas em BIM – Fascículo 1.** CAU/BR. 2013

BEHRMAN, W. **Best Practices for the Development and Use of XML Data Interchange Standards.** Stanford University, 2002.

buildingSMART. 2014. Internacional home of openBIM. Disponível em: <<http://www.buildingsmart-tech.org/>>. Acesso em: 01 de setembro de 2014.

_____. 2014. IfcDistributionPort. Disponível em: <<http://www.buildingsmart-tech.org/ifc/IFC2x3/TC1/html/ifcsharedbldgserviceelements/lexical/ifcdistributionport.htm>>. Acesso em: 27 de setembro de 2015.

_____. 2014. IfcFlowSegment. Disponível em: <<http://www.buildingsmart-tech.org/ifc/IFC4/Add1/html/>>. Acesso: 27 de setembro de 2015.

CORKE, G. **Solibri Model Checker V8**. AECMAGAZINE. 2013. Disponível em: <<http://aecmag.com/software-mainmenu-32/527-solibri-model-checker-v8>>. Acesso em: 03 de outubro de 2015.

COSTA, C.H.A.; STAUT, S.L.S.; ILHA, M.S.O. Projeto de sistemas prediais hidráulicos sanitários com BIM: Mapeamento da literatura. ENTAC 2014, Maceió. In: **Anais...** Maceió, 2014.

DELFOSSÉ, V.; SCHRAYEN, J.; JUCHMES, R.; LECLERCQ P. Some advice for migrating to IFC. 17th International Conference on Computer Aided Architectural Design Research in Asia. In: **Proceedings...** Chennai, 2012.

DIMYADI, J.; AMOR, R.; SPEARPOINT, M. Sharing Building Information using the IFC Data Model for FDS Fire Simulation. 9TH IAFSS SYMPOSIUM ON FIRE SAFETY SCIENCE. In: **Proceedings...** Alemanha, 2008.

EASTMAN, C.; TEICHOLZ, P.; SACKS, R.; LISTON, K. **Bim Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors**. Hoboken (NJ): John Wiley & Sons, 2008.

EASTMAN, C.; LEE, J.; JEONG Y.; LEE, J. Automatic rule-based checking of buildings designs. **Automation in Construction**, v.18, n. 8, p. 1011-1033, 2009.

FIATECH. **An Overview of Existing BIM Standards and Guidelines: A Report to Fiatech AutoCodes Project**. Texas, 2013. Disponível em: <<https://custom.cvent.com/F0D3FC83AB884EE1BAAC045EEDBF06C1/files/4b054f22d27e4018b8e8698885c9f0a8.pdf>>.

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

INTERNATIONAL AI. International Alliance of Interoperability. buildingSMART International Limited - Industry Foundation Classes. 1996-2014. Disponível em: < <http://www.buildingsmart-tech.org/>>. Acesso em: 20 de setembro de 2014.

International Alliance of Interoperability. **Information Delivery Manual - Guide to Components and Development Methods**. buildingSMART International. 2010. Disponível em: < <http://www.buildingsmart-tech.org/>>. Acesso em: 20 de setembro de 2014.

INHAN, K.; JONGCHEOL, S. Industry Foundation Classes-Based Approach for Managing and Using the Design Model and Planning Information in the Architectural Design. **Journal of Asian Architecture and Building Engineering**, v.8, n.2, p. 431-438, 2009.

INHAN, K.; JUNGSIK, C.; GEUNHA, C. **Development of Rule-based Checking Modules for the Evacuation Regulations of Super-tall Buildings in Open BIM Environments**. Transactions of the Society of CAD/CAM Engineers Vol. 18, No. 2, pp. 83-92, 2013.

ILHA, M.; OLIVEIRA, L.H.; GONÇALVES, O. Sistemas de medição individualizada de água: como determinar as vazões de projeto para a especificação dos hidrômetros? **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.15, n.2, p.177-186, 2010.

KHEMLANI, L. **The IFC Building Model: A Look Under the Hood**. AECbytes. 2004. Disponível em: <<http://www.aecbytes.com/feature/2004/IFCmodel.html>>. Acesso em: 22 de janeiro de 2014.

KHEMLANI, L. **Solibri Model Checker: AECbytes Product Review**. AECbytes. 2009. Disponível em: <<http://www.aecbytes.com/review/2009/SolibriModelChecker.html>>. Acesso em: 02 de agosto de 2013.

LEE, J. **Automated checking of building requirements on circulation over a range over a range of design phases**. 2010. Dissertação de Mestrado – Georgia Institute of Technology. 2010.

LIPP, J. **SELF-CONFIGURING RULESETS**. 2015. Disponível em: <<https://solibri.wordpress.com/tag/self-configuring-rulesets/>>. Acesso em: 26 de outubro de 2015.

MARTINS, J.P. **Modelação do Fluxo de Informação no Processo de Construção - Aplicação ao Licenciamento Automático de Projectos**. 2009. 437 p. Tese de Doutorado - Universidade do Porto, Portugal. 2009.

MARTINS, J.P.; MONTEIRO, A. **Building Information Modeling (BIM) – teoria e aplicação**. ICEUBI2011. Portugal, 2011.

MARTINS, J.P.; MONTEIRO, A. LicA: a BIM based automated code-checking application for water distribution systems. **Automation in Construction**, Elsevier, v.29, p.12-23, 2013.

MONTEIRO, A. **Avaliação da aplicabilidade do modelo IFC ao licenciamento automático de projectos de redes de distribuição predial de água**. 2010. 132 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade do Porto, Portugal, 2010.

OLIVEIRA, M. **Um método para obtenção de indicadores visando a tomada de decisão na etapa de concepção do processo construtivo: a percepção dos principais intervenientes**. 1999. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Rio Grande do Sul, 1999.

PCC 2465. Notas de aula da disciplina Sistemas Prediais I. São Paulo: Escola Politécnica da USP, 2014.

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

SOLIBRI. Solibri Model Checker v9. 2014. Disponível em: <<http://www.solibri.com/products/solibri-model-checker/>>. Acesso em: 03 de Dezembro de 2014.

_____. Solibri Model Checker v9.5 – Getting started with Solibri Model Checker. 2014. Disponível em: <<http://www.solibri.com/wp-content/uploads/2014/12/Getting-Started-v9.5.pdf>>. Acesso em: 23 de março de 2015.

SOLIHIN, W.; EASTMAN, C. Classification of rules for automated BIM rule checking development. **Automation in Construction**, v. 53, p. 69–82, 2015.

TIGRE. Componentes do Sistema de Água Quente. Enciclopédia Tigre. 2010. Disponível em: <http://www.tigre.com.br/enciclopedia/artigo/47/componentes_do_sistema_de_gua_quente_194926>. Acesso em: 31 de outubro de 2014.

____. Componentes do Sistema de Esgoto. Enciclopédia Tigre. 2010. Disponível em: <
http://www.tigre.com.br/enciclopedia/artigo/61/componentes_do_sistema_de_esgoto
 >. Acesso em: 31 de outubro de 2014.

____. Dimensionamento das Tubulações de Esgoto. Enciclopédia Tigre. 2010. Disponível em: <
http://www.tigre.com.br/enciclopedia/artigo/68/dimensionamento_das_tubula%E7%F5es_de_esgoto>. Acesso em: 31 de outubro de 2014.

SANTOS, E. T. Definindo BIM: Notas de aula da disciplina PCC 5952. São Paulo: Escola Politécnica da USP, 2013.

SOUZA, R.; *et al.* Sistema de gestão da qualidade para empresas construtoras. São Paulo: CTE, 1994. 247p.

WIX, J. Information Delivery Manual Guide to Components and Development Methods. buildinSMART International, 2010. Disponível em: <
http://iug.buildingsmart.org/idms/development/IDMC_004_1_2.pdf>. Acesso em: 18 de outubro de 2014.

WU S.; LEE W.; KOH, G.; AOUAD, G.; FU, C. An IFC-based space analysis for building accessibility layout for all users. **Construction Innovation**, v.4, n.3, p. 129 – 141. 2004.

ZHANG, S., TEIZER, J., LEE, J., EASTMAN, C.; VENUGOPAL, M., 2012, Building Information Modeling (BIM) and Safety: Automatic Safety Checking of Construction Models and Schedules. **Automation in Construction**, Elsevier, v.29, p.183-195, 2013.