

# Aspecto prescritivo das normas de sistemas prediais hidráulicos e sanitários e sua relação com a verificação automática de modelos BIM

*The prescriptive aspect of the standards of water supply and drainage for building systems and their relationship with BIM-based code checking*

Fabiano Rogerio Corrêa  
Lúcia Helena de Oliveira  
Carolina Yumi Kubo Takagaki

## Resumo

**E** prática comum a divisão de projetos de edifícios em subsistemas, o que resulta em dificuldades no gerenciamento do processo. O emprego de modelos BIM propicia a visualização da interação desses subsistemas e a verificação automática de critérios normativos. O objetivo deste artigo é analisar a viabilidade da verificação automática de modelos BIM segundo as recomendações das normas técnicas de sistemas prediais de água fria, água quente e de esgoto sanitário. O método consiste em levantar recomendações normativas e transformá-las em regras que possam ser verificadas automaticamente por meio de programas de computador. Os resultados mostram que regras de simples comparação e relacionadas a propriedades de elementos individualizados são possíveis de ser parametrizadas, mas também evidenciam que as atuais normas técnicas apresentam poucas recomendações que podem ser transformadas em regras. Conclui-se que, no caso de sistemas prediais hidráulicos e sanitários, a verificação completa e automática de modelos BIM só seria viável em um cenário em que as normas técnicas fossem integralmente prescritivas, para maximizar a cobertura de análise de projetos. Porém, como esse cenário não necessariamente aumenta a qualidade das soluções no sistema projetado, entende-se que a verificação automática possuirá um papel secundário enquanto não houver mudança no paradigma desse tipo de automatização.

**Palavras-chaves:** BIM. Verificação automática. Sistemas prediais hidráulicos e sanitários.

## Abstract

*It is common practice to divide the building projects into subsystems, resulting in difficulties in managing the process. The use of BIM enables visualization of the interaction between these subsystems and the automated verification of the normative criteria. The aim of this article is to analyse the feasibility of automated code checking of BIM models according to the recommendations of the Brazilian buildings systems standards such as cold water supply, hot water supply and sewage. The method consists in surveying standardization guidelines and turning them into rules that can be checked automatically by means of computer programs. The results show that simple comparison rules and properties related to individualized elements are possible to be parameterized, but they also show that the current technical standards present few recommendations that can be changed into rules. The conclusion is that, in the case of hydraulic services building systems, the full and automatic verification of BIM models would only be feasible in a scenario where the technical standards were prescriptive in their entirety, in order to maximize the coverage of project analysis. However, as this scenario does not necessarily increase the quality of the solutions in the system designed, the automated code checking will play a supporting role, while there will not be a change in the paradigm of this type of automation.*

**Keywords:** BIM. Automated code checking. Water supply and drainage building systems.

Fabiano Rogerio Corrêa  
Universidade de São Paulo  
São Paulo - SP - Brasil

Lúcia Helena de Oliveira  
Universidade de São Paulo  
São Paulo - SP - Brasil

Carolina Yumi Kubo Takagaki  
Brookfiel Brasil  
São Paulo - SP - Brasil

Recebido em 19/02/16  
Aceito em 02/05/17

## Introdução

Em geral, cada subsistema do edifício é projetado por um profissional de uma área de atuação específica. Desse modo, é responsabilidade do coordenador de projetos a compatibilização das diversas disciplinas associadas, uma vez que surgem inúmeros conflitos devido à falta de cooperação entre os envolvidos no processo. Isso ocorre em função de um fluxo contínuo de troca de informações e interdependência entre os envolvidos (RUSCHEL *et al.*, 2013). Considerando-se que as tecnologias de informação estão sendo cada vez mais utilizadas no setor da construção, os profissionais podem empregá-las com o objetivo de melhorar a qualidade e a produtividade em todos os subsistemas do edifício e em todas as etapas dos empreendimentos.

Nesse cenário, a Modelagem da Informação da Construção, ou simplesmente BIM (*Building Information Modeling*), atua de modo a alterar os processos ligados à construção civil, com amparo em plataformas de programas computacionais para gerenciar as informações da construção (BIOTTO; FORMOSO; ISATTO, 2015; BRÍGITTE; RUSCHEL, 2016). No âmbito do processo de projeto em BIM, o coordenador de projeto utiliza uma ferramenta computacional para integrar os diversos subsistemas que compõem o edifício. Nesse ambiente virtual de integração podem-se detectar automaticamente e visualizar interferências geométricas nos diferentes subsistemas do edifício (TAKAGAKI, 2016).

Além disso, pode-se submeter o projeto a um conjunto de regras que verifiquem a conformidade das soluções propostas com os critérios estabelecidos por normas técnicas, regulamentos e boas práticas no setor da construção. A existência dessas regras para a verificação automática agiliza o trabalho dos coordenadores de projetos.

No entanto, mesmo que os usos do BIM para a detecção de interferências e a verificação automática de códigos de obra sejam aqueles que provejam resultados e retornos mais imediatos aos envolvidos no projeto (ref), pouco se tem estudado e produzido resultados no que diz respeito às disciplinas de sistemas prediais. Zhang *et al.* (2013), Inhan, jungsik e Geunha (2013) e Dimyadi, Amor e Spearpoint (2008) desenvolveram pesquisas de verificações de regras para projetos de combate a incêndio, enquanto Wu *et al.* (2004) e Lee (2010) desenvolveram pesquisas referentes à verificação de acessibilidade e circulação. Desse modo, não existe atualmente um conjunto de regras de verificação de sistemas prediais hidráulicos e sanitários que correspondam às recomendações das

normas técnicas brasileiras para que o projeto seja verificado automaticamente.

Ainda, com relação a sistemas prediais hidráulicos e sanitários, segundo Costa, Staut e Ilha (2014) e Costa e Ilha (2017), há poucas publicações sobre BIM disponíveis nas bases de dados nacionais e internacionais. Aumentar esse número de pesquisas é uma contribuição deste trabalho para o tema, tendo em vista os benefícios que o BIM proporciona no desenvolvimento de projetos.

A principal contribuição deste trabalho é ressaltar o potencial da tecnologia de verificação automática de projetos diante do aspecto prescritivo das normas técnicas. A sistemática empregada até o presente momento para a verificação automática de códigos de obra é dependente da existência de normas prescritivas, que são facilmente transformadas em regras matemáticas e, posteriormente, implementadas em sistemas computacionais (TAKAGAKI; OLIVEIRA; CORRÊA, 2016).

Considerando-se que a qualidade do projeto é inerente à habilidade e à criatividade do profissional, que jamais serão dispensáveis, e que a automatização é uma ferramenta que pode contribuir tanto em qualidade quanto em produtividade, este artigo tem como objetivo analisar a viabilidade de regras de verificação de modelos BIM relativas às recomendações das normas técnicas de sistemas prediais de água fria, água quente e esgoto sanitário.

## Método

Para a obtenção dos resultados o trabalho foi desenvolvido por meio das seguintes etapas:

- (a) levantamento do maior número possível de critérios de projeto, recomendados pelas seguintes normas: sistemas prediais de água fria NBR 5626 (ABNT, 1998), sistemas prediais de água quente NBR 7198 (ABNT, 1993), sistemas prediais de água fria e quente (Projeto 02:146.03-003/1 (ASSOCIAÇÃO..., 2016)) e sistemas prediais de esgoto sanitário NBR 8160 (ABNT, 1999);
- (b) desenvolvimento de regras matemáticas para a verificação de modelos BIM que estejam no formato *Industry Foundation Classes* (IFC);
- (c) validação das regras por meio:

- do programa comercial de computador *Solibri Model Checker* (SMC) (2014), da Nemetschek; e

- da criação de um programa de computador para o processamento direto do arquivo IFC; e

(d) análise da viabilidade de regras de verificação de modelos BIM relativas às recomendações das normas de sistemas prediais de água fria, água quente e esgoto sanitário para os respectivos projetos.

## Verificação automática de modelos BIM

A verificação automática de modelos BIM visa submeter o projeto a um conjunto de regras para verificar sua adequação aos critérios recomendados por normas técnicas, regulamentos ou boas práticas no setor da construção. Os programas executam cada uma das regras pertinentes ao conteúdo do projeto, para cada componente do modelo em que a regra possa ser aplicada, e apresentam como resultado um relatório com a conformidade ou não dos diversos elementos do projeto com relação à norma em análise.

## Classificação e elaboração das regras de verificação

Considerando-se o aspecto prescritivo das normas técnicas analisadas, a transformação das recomendações normativas em regras matemáticas pode produzir conjuntos de regras cujos desempenhos na verificação automatizada são bem distintos: desde uma verificação simples e imediata até a incapacidade de verificação dela via um programa de computador, dada sua complexidade. As regras de verificação podem ser classificadas, segundo Solihin e Eastman (2015), com base nessa complexidade. Esses autores propõem a classificação descrita a seguir.

### Classe 1: regras que requerem um ou alguns dados específicos

Essas regras podem ser executadas a partir de informações que já estão contidas nos atributos das entidades presentes no modelo (projeto). São regras de pouca complexidade e de simples verificação, em geral utilizadas para verificar medidas de comprimentos e diâmetros, posicionamento de um elemento, de elementos em contato e de existência de componentes. Um acesso ao banco de dados permite a obtenção dessa informação: valor do atributo  $y$  da entidade  $x$  maior ou menor que algum valor de referência.

### Classe 2: regras que requerem um valor derivado simples

As regras desta classe usam valores derivados de informações contidas no projeto. São, em geral, regras de verificação de localização de elementos e

de cotas de elementos. É preciso compor dois ou mais acessos ao banco de dados e realizar uma operação matemática para a obtenção da informação desejada: valor do atributo  $y$  das entidades  $x$  e  $z$ , para compor a equação:  $\sqrt[2]{y_x^2 + y_z^2}$ .

São exemplos típicos dessa classe as regras que necessitam de dados, como distância entre dois componentes. Nesse caso, a distância não está explícita nos dados do projeto, porém ela pode ser calculada de forma simplificada com dados disponíveis no projeto.

### Classe 3: regras que requerem uma estrutura de dados complexa

Estas regras requerem uma estrutura maior de dados com semântica complexa. Para que esses dados sejam obtidos é necessário explorar as relações entre os elementos; por isso, não é simples.

A elaboração das regras da classe 3 possibilita a verificação de declividade de elementos ao longo de um sistema formado por eles, de elementos conectados uns aos outros, de distância entre componentes de diferentes sistemas, da existência de elementos no sistema e da verificação referente à localização de elementos.

### Classe 4: regras que requerem uma “prova de solução”

As regras da classe 4 são regras mais complexas, que requerem uma “prova de solução”. As verificações dessas regras podem resultar em uma sugestão para a solução de possíveis problemas do projeto. Neste artigo não são propostas regras de verificação da classe 4, pois elas requerem maior complexidade na verificação de regras e são difíceis de se implementar em um programa de computador.

## Esquema de dados IFC

Pode-se considerar que no BIM, Modelagem da Informação da Construção, a informação é o elemento central dos processos. Nesses processos as informações são armazenadas em um modelo tridimensional digital, associado a um banco de dados, e o formato desse armazenamento é importante. Isso porque determina se os diversos profissionais envolvidos no processo de projeto, que são responsáveis por diferentes subsistemas da edificação e empregam programas de computador distintos para projetar, são capazes de interagir de modo eficiente, mantendo a integridade dessas mesmas informações. Trata-se da questão de interoperabilidade.

O IFC (*Industry Foundation Classes*) é um esquema de dados aberto criado pela organização

internacional buildingSMART (2018) para promover a interoperabilidade dentro do conceito do BIM. Sua última versão, IFC4 Add2, é também a norma ISO 16739 (INTERNATIONAL..., 2013). Todas as informações pertinentes ao ciclo de vida da edificação podem, em tese, ser representadas nesse esquema. Além disso, chama-se também de IFC ao arquivo que contém o modelo BIM representado segundo as entidades do esquema de dados.

No IFC os componentes físicos da construção, tais como paredes, vigas, entre outros, e os componentes abstratos, como, por exemplo, data de execução da laje do primeiro pavimento e os agentes dos processos construtivos, são representados por meio de entidades digitais. Essas entidades são compostas de atributos, possuem propriedades e apresentam relações entre si. As relações têm a capacidade de receber, interligar, transmitir e suportar conjuntos de atributos, além de serem definidas em diferentes níveis de agregação.

Parte das relações está associada à forma geométrica dos componentes ou elementos que as entidades representam. Informações geométricas e espaciais das entidades estão, portanto, implícitas no modelo e precisam ser extraídas por um processamento específico.

Na Figura 1 estão ilustrados os atributos associados a um segmento da tubulação presente em um modelo em IFC. Alguns desses atributos representam outras entidades, como o 7º Representação, que é a entidade *IfcProductDefinitionShape* – que irá referenciar diversas outras entidades até chegar na composição

geométrica para a geração de um cilindro com determinado comprimento, que atribui forma geométrica ao *IfcPipeSegment*.

Como a representação geométrica existe separadamente da entidade *IfcPipeSegment*, é possível que todas as entidades que tenham a mesma forma possam estar associadas a apenas uma representação, o que torna o tamanho do arquivo menor, e mais facilmente manipulado computacionalmente.

Além dos atributos (inclusive da representação geométrica), existem diversas relações associadas a esse segmento, das quais serão exemplificadas duas que:

(a) atribuem propriedades aos elementos como *WorkingPressure* (pressão de trabalho) e *NominalDiameter* (diâmetro nominal), que estão dentro do conjunto de propriedades *Pset\_PipeSegmentTypeCommon*; e

(b) atribuem relações espaciais como a *IfcRelContainedInSpatialStructure*, que permitem representar quais segmentos fazem parte de um determinado sistema de distribuição.

Na Figura 2 está apresentado um trecho de um arquivo com a entidade *IfcPipeSegment*. Cada linha do arquivo IFC, com identificador numérico (#), representa uma entidade diferente, com os valores de seus atributos. Alguns desses valores podem referenciar outras linhas ou entidades do IFC. Portanto, a busca de informações dentro de um arquivo pode ser bastante trabalhosa, como em um processo recursivo, quando uma referência precisa de outra, e assim sucessivamente.

Figura 1 - Representação geométrica e dos atributos da entidade IFC que representa uma tubulação

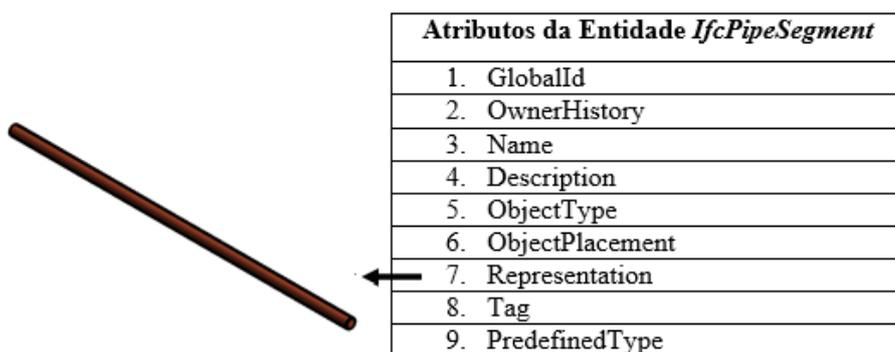


Figura 2 - Trecho de um arquivo IFC que representa a entidade *IfcPipeSegment*

```
#171= IFCPIPESEGMENT('1LMOolaGH2Pe8rT4igOSz1', #42, 'Pipe
Types:Standard:898443', $, 'Pipe
Types:Standard:142438', #144, #163, '898443', $);
```

As propriedades das entidades também estão em linhas separadas. É necessário encontrar uma linha, de relação, que faça o vínculo entre a propriedade e a entidade, o que torna também um trabalho exaustivo à procura de entidades que referenciem o identificador numérico (#) da entidade que interessa em determinada regra.

A opção de trabalhar com modelos BIM no formato IFC advém de dois fatos:

- (a) o software *Solibri Model Checker*, considerado atualmente o melhor do mercado para a função de verificação automática, funciona apenas com esse formato específico; e
- (b) por tratar-se de um esquema de dados aberto, largamente adotado pela indústria da arquitetura, engenharia e construção (AEC), permite a interpretação da informação contida nele para o caso do processamento direto do arquivo.

Ressalta-se que a maior parte dos programas de computador de autoria em BIM possui a funcionalidade de exportar seus modelos em formato nativo para o formato IFC. Apesar disso, no entanto, esse procedimento de exportação é parte do problema de perda de integridade da informação em processos BIM. Antes de usar o modelo BIM em IFC para realizar as verificações automáticas, é necessário analisá-lo e eventualmente editar algumas informações, para que tudo esteja no local correto e para que o programa de computador possa localizá-las no local esperado.

Como exemplo, a declividade de um ramal de esgoto pode ser calculada a partir de suas posições espaciais, dados os pontos de início e fim de uma das tubulações. Apesar de alguns programas de computador para modelagem dos subsistemas hidráulicos e sanitários permitirem a colocação explícita dessa informação nos elementos, o esquema de dados IFC não prevê tal informação, portanto ela é perdida durante a conversão dos formatos.

### Solibri Model Checker - SMC

Os atuais profissionais que fazem as vezes de coordenador de projeto em BIM têm a sua disposição basicamente dois programas de computador que poderiam fazer a verificação automática dos códigos de obra: o Navisworks, da Autodesk, e o Solibri Model Checker, da Nemetschek. Este último, por ser líder de mercado, e ter um desempenho mais robusto, foi o escolhido para os desenvolvimentos deste trabalho.

Na sequência são apresentados os conceitos básicos necessários para se realizar a configuração e criação de regras, e para a verificação automática.

### Gerenciador de regras

No gerenciador do conjunto de regras do SMC há diversas regras classificadas por disciplina, porém não há um conjunto de regras para sistemas prediais hidráulicos e sanitários. Esse gerenciador permite alterar parâmetros de regras e adicionar, remover, renomear e modificar descrições de regras e de conjunto de regras.

Para criar as regras de sistemas prediais hidráulicos e sanitários 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, entre outras. A existência dessas regras genéricas e parametrizáveis permite a criação das regras apresentadas neste trabalho.

### Desenvolvimento de regras

O SMC contém uma biblioteca de regras gerais, porém a maioria dessas regras refere-se à verificação de acessibilidade e de sistemas de combate a incêndios. Ressalta-se que muitas regras não podem ser adaptadas para outras disciplinas de projeto.

Observa-se que é possível criar uma regra customizada com a utilização de regras-padrão e desenvolver todas as suas interações necessárias adicionando, removendo ou alterando parâmetros de uma regra existente.

### Filtros de seleção

Os filtros são importantes na criação de novas regras. Eles selecionam 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 no espaço de trabalho.

### Acesso direto aos dados do arquivo IFC

Ao empregar o SMC, o usuário fica restrito a empregar regras matemáticas que se adequam, de uma maneira ou de outra, à sintaxe sobre a qual o software funciona. O problema é que essa sintaxe não foi desenvolvida tendo-se em mente regras das categorias 3 e 4.

Neste trabalho busca-se acessar diretamente o conteúdo dos arquivos IFC de maneira semiautomática, qual seja: para cada informação

necessária, uma rotina é desenvolvida para extrair a informação e realizar os cálculos necessários.

Existem bibliotecas computacionais que permitem a manipulação direta de arquivos IFC, sendo algumas delas, como o IfcOpenShell, de código-aberto, e que podem ser empregadas para o desenvolvimento de rotinas de computador para automatizar a extração das informações.

No entanto, a manipulação do esquema de dados IFC não é trivial. A partir das bibliotecas existentes, pode-se encontrar dificuldades para percorrer a estrutura de dados do IFC quando em busca de informações que são de sistemas, e não de componentes: por exemplo, encontrar o sentido de escoamento da água no sistema de água fria.

De qualquer forma, os desenvolvimentos relativos ao padrão IFC, amplamente aceitos pela indústria da construção, estão em constante evolução, e melhorias ocorrem com frequência na disponibilização de novas ferramentas que poderão facilitar a obtenção dessas informações sem a

necessidade de um conhecimento mais especializado de programação computacional.

## Resultados

As recomendações normativas, estabelecidas por meio de critérios prescritivos, para os sistemas prediais de água fria, água quente e de esgoto sanitário, e as respectivas regras de verificação desenvolvidas e implementadas, tanto no SMC quanto em aplicação desenvolvida pelos autores, são apresentadas e discutidas a seguir.

## Recomendações normativas

São apresentadas nove recomendações relativas ao sistema predial de água fria (Quadro 1), três relativas ao sistema predial de água quente (Quadro 2) e quinze relativas ao sistema predial de esgoto sanitário (Quadro 3). Essas recomendações são prescritivas e, portanto, podem ser empregadas para automatizar a avaliação de projetos por meio do BIM.

Quadro 1 - Resumo das recomendações normativas e de boas práticas e respectivas fórmulas de verificação do sistema predial de água fria

Sistema predial de água fria			
	Recomendação normativa	Fórmula de verificação	Item da NBR 5626
1	Diâmetro da tubulação a montante e diâmetro da tubulação a jusante	Diâmetro de montante $\geq$ diâmetro de jusante	Não consta na norma, porém pode ocorrer por erro de modelagem de projeto
2	Cota de tubulação de água e cota de tubulação de esgoto no mesmo eixo vertical	Cota água $>$ cota esgoto	Item 5.2.3.4 da NBR 5626 (ABNT, 1998)
3	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	Item 5.2.10.4 da NBR 5626 (ABNT, 1998)
4	Diâmetro da coluna de ventilação e diâmetro da coluna de distribuição	Diâmetro col. ventilação = diâmetro da coluna de distribuição	Item 5.4.3.6 da NBR 5626 (ABNT, 1998)
5	Localização da tubulação de ventilação na coluna de distribuição é a jusante do registro existente na coluna	Localização da ligação da tubulação de ventilação na coluna de distribuição = localização da jusante do registro da coluna	Item 5.4.3.6 da NBR 5626 (ABNT, 1998)
6	Diâmetro de alimentador predial e diâmetro do extravasor do reservatório	Diâmetro extravasor $>$ diâmetro alimentador predial	Item 5.2.8.5 da NBR 5626 (ABNT, 1998)
7	Nível máximo de água no reservatório abaixo do nível da geratriz inferior do extravasor	Nível máximo de água no reservatório $<$ nível da geratriz inferior do extravasor	Item 5.2.7.4 da NBR 5626 (ABNT, 1998)
8	Coluna exclusiva para colunas que alimentam componentes de alta vazão como a válvula de descarga	Existência de coluna exclusiva para válvula de descarga e para componentes de alta vazão	Item 5.3.2.2 da NBR 5626 (ABNT, 1998)
9	Posicionamento: caixas de esgoto, valas de infiltração, fossas, sumidouros, aterros sanitários, depósitos de lixo e tubulações de água fria	Posicionamento das caixas de esgoto, valas de infiltração, fossas, sumidouros, aterros sanitários, depósitos de lixo $\neq$ posicionamento das tubulações de água fria	Item 5.4.2.5 da NBR 5626 (ABNT, 1998)

Fonte: Takagaki (2016).

Quadro 2 - Resumo das recomendações normativas e de boas práticas e respectivas fórmulas de verificação do sistema predial de água quente

<b>Sistema predial de água quente</b>			
	<b>Dados de entrada</b>	<b>Fórmula de verificação</b>	<b>Item da NBR 7198</b>
<b>10</b>	Localização da entrada de água fria no boiler de água quente	Existência de sifão térmico na entrada de água fria no boiler de água quente	Não consta na norma, porém é uma boa prática
<b>11</b>	Existência de tubo de respiro na saída da tubulação de água quente	Existência de tubo de respiro na saída da tubulação de água quente	Item 5.1.3 da NBR 7198 (ABNT, 1993)
<b>12</b>	Existência de tubo de respiro coletivo em edifícios	Não existência de tubo de respiro coletivo em edifícios	Item 5.1.3 da NBR 7198 (ABNT, 1993)

Fonte: Takagaki (2016).

Quadro 3 - Resumo das recomendações normativas e de boas práticas e respectivas fórmulas de verificação do sistema predial de esgoto sanitário (Continua...)

<b>Sistema predial de esgoto sanitário</b>			
	<b>Recomendação normativa</b>	<b>Fórmula de verificação</b>	<b>Item da NBR 8160</b>
<b>13</b>	Cotas de montante e jusante, trecho de tubulação e distância entre estes pontos	Declividade $\geq 1\%$ ; sendo declividade = $((Cota1) - (Cota2))/(Distância \times 100)$	Item 4.2.3.2 da NBR 8160 (ABNT, 1999)
<b>14</b>	Cotas de montante e jusante de tubo e distância entre esses pontos no eixo das abcissas (x)	Declividade $\leq 5\%$ ; sendo declividade = $((Cota1) - (Cota2))/(Distância \times 100)$	Item 4.2.5.2 da NBR 8160 (ABNT, 1999)
<b>15</b>	Diâmetro da tubulação de ventilação, ramal de esgoto e ramal de descarga	Diâmetro tubo ventilação $\leq$ diâmetro do ramal esgoto ou ramal descarga	Não consta na norma, porém é uma boa prática para a análise do projeto
<b>16</b>	Existência do prolongamento do tubo de ventilação e sua altura e localização da extremidade aberta	Extremidade aberta distância $\geq 4$ m de janelas, portas ou vãos; e altura prolongamento $> 2$ m acima da cobertura ou prolongamento $> 0,3$ m	Item 4.3.6 da NBR 8160 (ABNT, 1999)
<b>17</b>	Diâmetro tubo a montante e diâmetro do tubo a jusante	Diâmetro de montante $\leq$ Diâmetro de jusante	Não consta na norma, porém pode ocorrer por erro de digitação no projeto
<b>18</b>	Distância mínima entre caixa de inspeção e tubo de queda em edifícios com mais de dois pavimentos	Distância entre caixa de inspeção e tubo de queda $\geq 2$ m	Item 4.2.6.2 da NBR 8160 (ABNT, 1999)
<b>19</b>	Diâmetro da coluna de ventilação, ligações à coluna e localização da extremidade superior	Diâmetro uniforme; ligada a subcoletor ou tubo de queda	Item 4.3.14 da NBR 8160 (ABNT, 1999)
<b>20</b>	Comprimento coletor predial	Comprimento $\leq 15$ m	Item 4.2.6.2 da NBR 8160 (ABNT, 1999)
<b>21</b>	Diâmetro coletor predial	Diâmetro $\geq 100$ mm	Item 5.1.4.1 da NBR 8160 (ABNT, 1999)
<b>22</b>	Distância entre desconector e o tubo ventilador	Distância com base no diâmetro do ramal de descarga, conforme a Quadro 1 da NBR 8160 (ABNT, 1999)	Item 4.3.11 da NBR 8160 (ABNT, 1999)
<b>23</b>	Distância entre dois dispositivos de inspeção	Distância entre dispositivos de inspeção $\leq 25$ m	Item 4.2.6.2 da NBR 8160 (ABNT, 1999)

Quadro 3 - Resumo das recomendações normativas e de boas práticas e respectivas fórmulas de verificação do sistema predial de esgoto sanitário (continuação)

Sistema predial de esgoto sanitário			
	Recomendação normativa	Fórmula de verificação	Item da NBR 8160
24	Comprimentos de ramais de descarga e de esgoto de bacias sanitárias a um componente de inspeção	Comprimento do trecho $\leq 10$ m	Item 4.2.6.2 da NBR 8160 (ABNT, 1999)
25	Distância entre ligação do coletor predial e dispositivo de inspeção mais próximo	Distância $\leq 15$ m	Item 4.2.6.2 da NBR 8160 (ABNT, 1999)
26	Ligações do ramal de esgoto do piso térreo	Ramal de esgoto em tubulação independente direto à caixa de inspeção e não a tubo de queda	Não consta na norma, porém é uma boa prática para a análise do projeto
27	Diâmetro ramal de descarga	Diâmetro conforme a Tabela 3 da NBR 8160 (ABNT, 1999)	Item 5.1.2.1 da NBR 8160 (ABNT, 1999)

Fonte: Takagaki (2016).

## Regras de verificação

As regras de verificação, apresentadas nesta seção, têm como base as recomendações normativas apresentadas nos Quadros 1, 2 e 3. Das 27 recomendações normativas, oito foram transformadas em regras para a classe 1, quatro para a classe 2, e quinze para a classe 3.

As regras foram desenvolvidas e implementadas no SMC. Quando não foi possível fazer tal implementação, devido à interface limitada de construção de regras no SMC, foram implementadas numa rotina automática externa. Desse modo, foram criados programas computacionais de verificação com o emprego de conceitos de armazenamento de dados do IFC para obter as informações necessárias dessas verificações. As Figuras 3, 4 e 5 apresentam as regras de verificação das recomendações das classes 1, 2 e 3, respectivamente.

## Análise e discussão dos resultados

A análise de projetos de diferentes profissionais possibilita verificar que alguns são detalhados e organizados, enquanto outros apresentam diversas inconsistências. Esse fato dificultou a verificação de regras, pois não há um padrão nos projetos e, por isso, foi necessário modificá-los para em seguida realizar as verificações, o que ilustra a carência de diretrizes de modelagem no âmbito dos processos BIM e a necessidade de projetos com informações claras, concisas e padronizadas.

## Normalização técnica e sua automatização

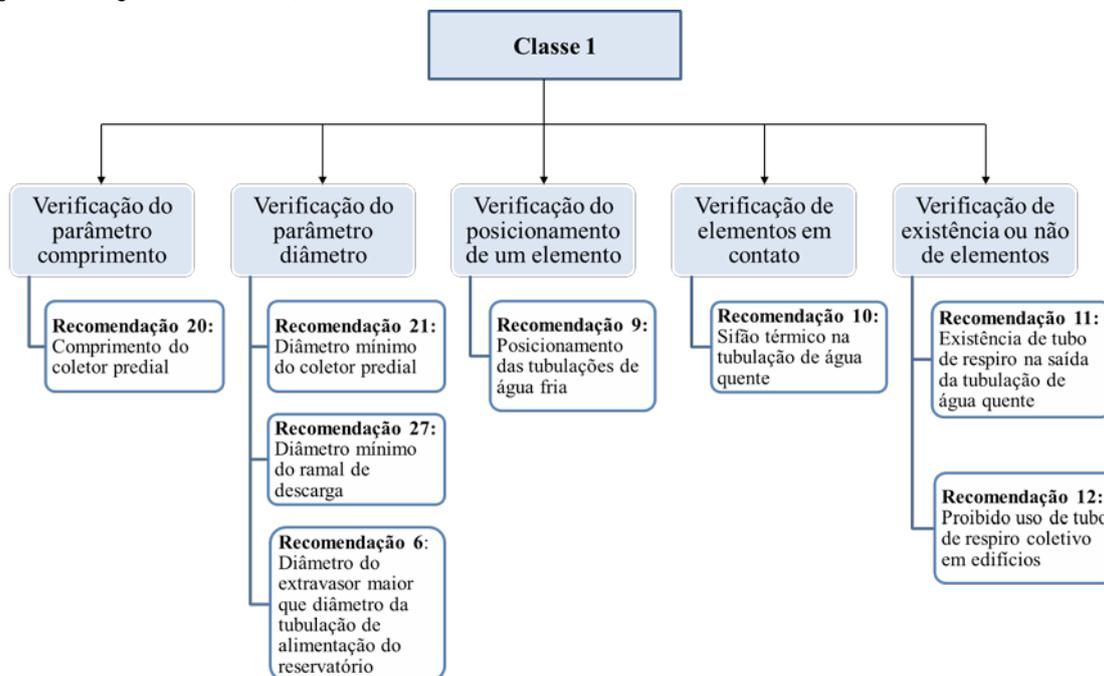
O conjunto de 27 regras de verificação obtido mostra que, com o ferramental conceitual, tecnológico e normativo atual, não foi possível conseguir um maior número de verificações de forma automática a partir das NBR 5626, NBR 7198 e NBR 8160. Há ainda vários outros aspectos indispensáveis para a garantia da qualidade do projeto, tais como os discutidos a seguir:

- (a) variáveis de entrada para dimensionamento de alimentador predial e de reservatórios – população, consumo diário *per capita*, número de dias de reserva adicional da água da concessionária e velocidade da água no alimentador predial. Neste caso, o projetista poderá superestimar a população ou consumo diário *per capita* ou o número de dias de reserva adicional e ter como consequência grandes volumes de água armazenada, o que contribui para deteriorar a qualidade da água. No caso de superestimar a velocidade da água, pode haver problemas de desgaste da tubulação, e, ainda, subestimar a velocidade da água pode contribuir para a deposição de resíduos ou estagnação da água no alimentador predial;
- (b) soluções mais adequadas de traçados geométricos – devem-se priorizar traçados mais curtos para reduzir perda de carga nas tubulações, permitir o rápido escoamento da água utilizada em aparelhos sanitários, impedir que gases provenientes do interior do sistema predial de esgoto sanitário atinjam ambientes sanitários, propiciar inspeções de modo a facilitar o processo de manutenção, entre outros;

- (c) especificação de materiais e componentes em função das solicitações do sistema e das atividades a serem realizadas; e
- (d) locação de pontos de utilização, que depende do tipo de uso, do tipo de usuários e das atividades a serem realizadas, entre outros.

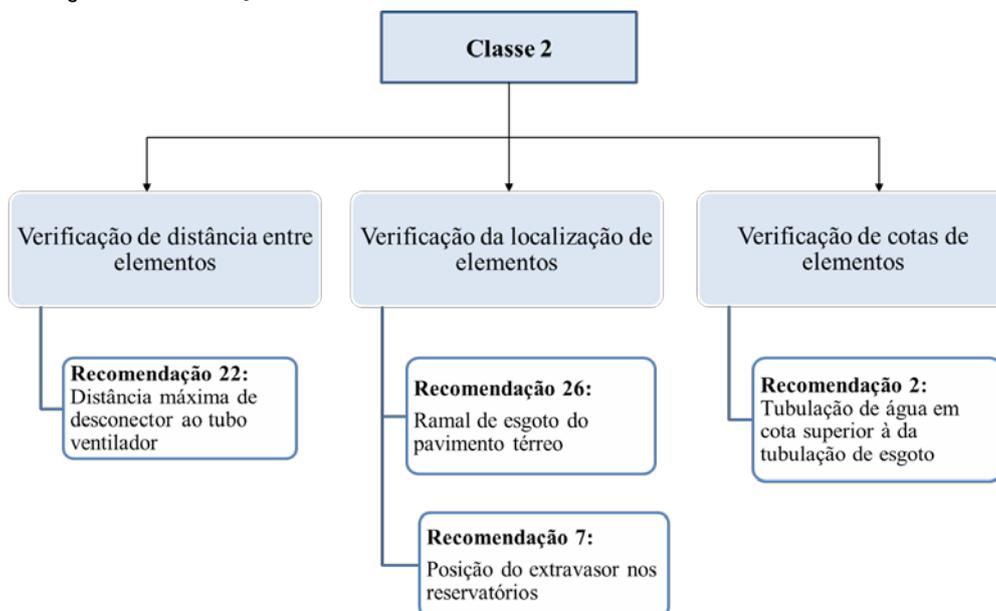
Esses aspectos não estão e não podem estar normatizados, pois cabe ao projetista, em função de sua competência técnica, conhecimento das atividades a serem exercidas no edifício e criatividade, com base nos requisitos e necessidades dos usuários, desenvolver o projeto.

Figura 3 - Regras de verificação da classe 1



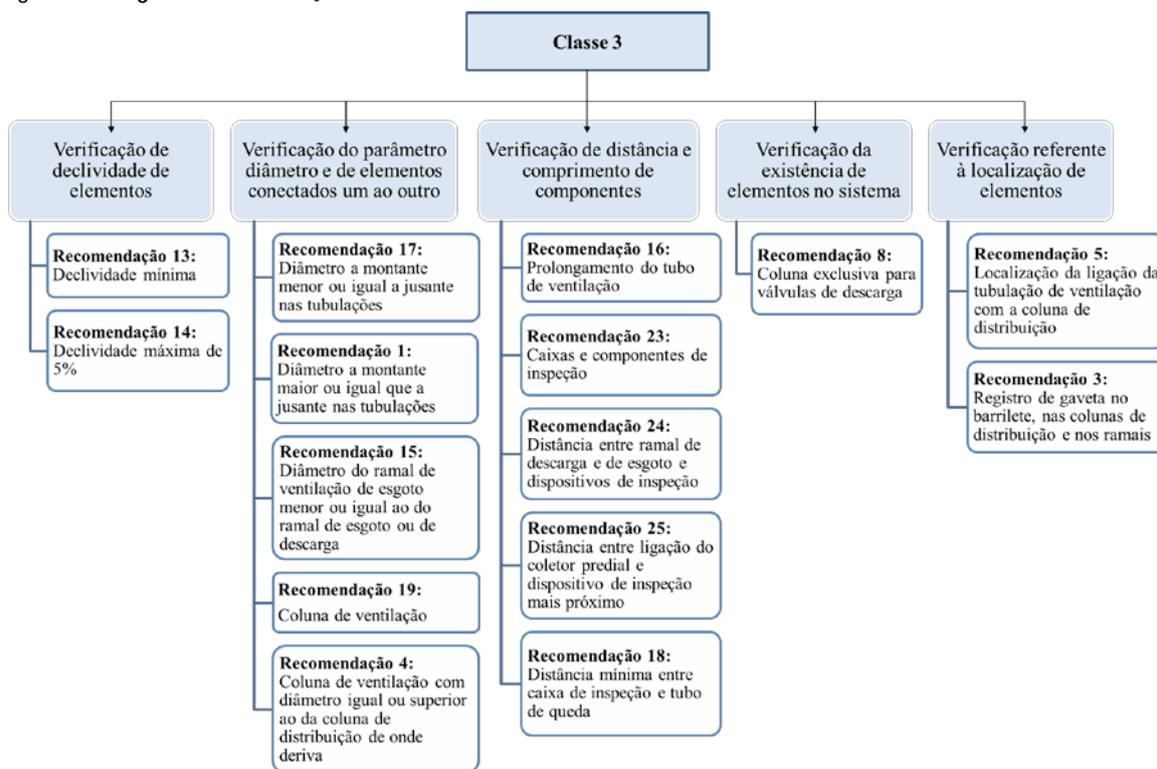
Fonte: Takagaki (2016).

Figura 4 - Regras de verificação da classe 2



Fonte: Takagaki (2016).

Figura 5 - Regras de verificação da classe 3



Fonte: Takagaki (2016).

Ressalta-se que vários aspectos de qualidade de projeto são inerentes à competência do projetista, ao propor soluções que não estão prescritas em normas, como também do coordenador de projeto, ao analisar as conformidades com as normas técnicas, regulamentos e boas práticas de projeto.

Tendo-se em vista a melhoria da qualidade de projetos, execução, operação e manutenção de sistemas prediais hidráulicos e sanitários, observa-se que a normalização técnica é elaborada como uma referência de controle das condições mínimas de alguns critérios para o alcance desse objetivo. Por outro lado, a automatização é uma ferramenta precisa, facilitadora e agilizadora do processo.

Considerando-se que a normalização seja um mecanismo para estabelecer a padronização e aumentar a garantia de produtos e serviços, ela reduz possíveis falhas em projetos. No entanto, um projeto que atenda a todas as normas não implica ausência de problemas, pois as melhores soluções de projeto dependem da inteligência do projetista e de seu domínio teórico dos sistemas prediais hidráulicos e sanitários, bem como da inter-relação destes com os outros sistemas do edifício. O atendimento às normas é um modo de controlá-los até certo ponto e de assegurar algumas características desejáveis aos projetos.

A automatização do processo aumenta a produtividade e a confiabilidade do projetista com relação a seu projeto, pois a verificação manual demanda maior tempo e está sujeita a erros. Ressalta-se, no entanto, que não basta 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 corrigidos.

Assim, tendo-se em vista que a qualidade do projeto é inerente à habilidade do profissional, que a automatização é uma ferramenta que pode contribuir tanto em qualidade quanto em produtividade e que a abordagem do conceito de desempenho é indispensável para o atendimento às necessidades e exigências dos usuários, os resultados deste trabalho mostram que somente recomendações básicas tais como diâmetro mínimo e declividade mínima, podem ser transformadas em regras de verificação automática.

### Desenvolvimento e verificação automática de regras para sistemas prediais

As verificações automáticas de sistemas prediais hidráulicos e sanitários que podem ser realizadas como usuário de um software comercial são limitadas à adaptação às regras que se adequam à

sintaxe geral do SMC. Apesar de possível, a criação de novas sintaxes via API (*Application Program Interface*) não é aberta ao usuário, estando limitada aos próprios desenvolvedores do software.

De um conjunto de vinte e sete regras de verificação de recomendações normativas, foi possível o desenvolvimento de 44% de regras somente com o emprego do SMC como ferramenta, conforme ilustrado na Figura 6. Dos 56% restantes 41% das regras foram verificadas por meio de ferramenta externa ao SMC. Os outros 15% das regras foram verificados de modo semiautomatizado, porque dependiam da relação manual entre resultados parciais do SMC e verificações no programa auxiliar desenvolvido pelos autores.

O SMC como ferramenta para a elaboração de regras de sistemas prediais mostrou-se restrito, em especial com as regras de verificação das classes 3 e 4, que exigem uma estrutura de dados mais complexa. As regras de verificação das classes 1 e 2, que são regras em que os parâmetros estão contidos no projeto ou que são facilmente calculados, foram possíveis de ser elaboradas no SMC.

As regras de simples comparação e de propriedades podem ser parametrizadas no SMC e apresentam resultados de fácil visualização, o que permite agilizar a correção de projetos por parte de projetistas e de coordenadores de projeto.

Não foi elaborada nenhuma regra da classe 4, e as regras da classe 3 foram desenvolvidas e implementadas no programa desenvolvido pelos autores. Para uma parcela pequena desse conjunto

(15% do total de regras desenvolvidas), foi necessário o emprego em conjunto do SMC para facilitar a obtenção de informações do modelo e evitar a implementação de funcionalidades já presentes na ferramenta comercial.

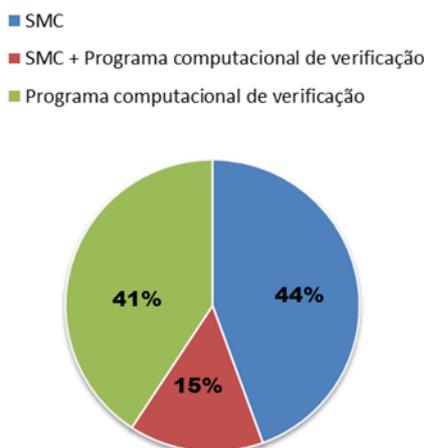
## Conclusões

Este artigo tem como foco a análise da necessidade de normas prescritivas de sistemas prediais de água fria, de água quente e de esgoto sanitário, em atendimento às normas NBR 5626 (ABNT, 1998), NBR 7198 (ABNT, 1993), Projeto 02:146.03-003/1 (ASSOCIAÇÃO..., 2016) e NBR 8160 (ABNT, 1999) para o desenvolvimento de regras automáticas para a verificação de modelos BIM.

No caso de sistemas prediais hidráulicos e sanitários, observa-se atualmente uma tendência cada vez maior de normas técnicas com enfoque no conceito de desempenho, que trata cada projeto com base no princípio da adequação do sistema às necessidades dos usuários. Essa abordagem dificulta ou até inviabiliza a criação de regras a partir de normas técnicas, uma vez que o desenvolvimento dessas regras matemáticas necessita de normas prescritivas.

Se, por um lado, as normas prescritivas diminuem a possibilidade de se projetar com soluções exclusivas para cada problema, por outro, é garantida a rapidez de produção de projetos, tendo em vista que, quanto maior o número de regras, maior a capacidade de cobertura de pontos a serem analisados no projeto.

Figura 6 - Percentual de uso das ferramentas utilizadas para a elaboração das regras de verificação dos sistemas prediais de água fria, água quente e de esgoto sanitário



Fonte: Takagaki (2016).

O centro da discussão está no fato de as normas de sistemas prediais em vigor terem itens prescritivos e vários itens que não possibilitam a transformação em regras de verificação. Tome-se como exemplo a recomendação da NBR 8160 (ABNT, 1999), item 4.1.3.b: “Permitir o rápido escoamento da água utilizada e dos despejos introduzidos, evitando a ocorrência de vazamentos e a formação de depósitos no interior da tubulação”. Para transformar isso em uma regra, ou conjunto de regras, seria necessário rodar uma simulação do tipo CFD (*Computational Fluid Dynamics*), por exemplo, e ter uma métrica para avaliar diferentes valorações para o que viria a ser “rápido escoamento”. Assim, fica inviável verificar essa recomendação da forma como é feita atualmente a verificação automática de códigos de obra.

Outra questão é relativa à competência do profissional, que, ao projetar com base em normas prescritivas, tem sua criatividade limitada quando da proposição de alternativas de soluções para um mesmo problema. Dessa forma, o que seria mais adequado: verificação automática de projetos, por meio de modelos BIM, tendo como base normas prescritivas ou verificação manual e normas com base em desempenho?

Pode-se concluir que:

- (a) no caso de sistemas prediais hidráulicos e sanitários as regras de verificação são viáveis até certo ponto, pois elas não necessariamente aumentariam a qualidade das soluções no sistema projetado. Isso porque elas dependem da capacitação técnica e criativa do profissional;
- (b) as normas técnicas atuais precisariam ser muito mais prescritivas para maximizar a cobertura de análise de projetos;
- (c) o desenvolvimento de regras de verificação de projetos de sistemas prediais hidráulicos e sanitários com o emprego do SMC mostrou-se restrito a regras de comparações e análises simples de parâmetros;
- (d) a forma como o modelo em IFC armazena as informações necessárias faz com que seja possível criar regras de verificação mais complexas, que não foram possíveis de ser analisadas no SMC;
- (e) o atual paradigma para a verificação automatizada de regras, que é implementada no software SMC e em similares, 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; e

(f) com relação ao BIM, observa-se que não há uma padronização dos modelos. Há uma grande diferença entre o nível de informação e a forma como ela é armazenada em cada modelo. O modelo deve vir com as propriedades corretas para que seja possível fazer certas verificações, ou seja, a informação já deve estar no parâmetro correto, desde sua modelagem.

Enfim, as regras de verificação agilizam o trabalho de coordenadores de projetos com a garantia da qualidade das informações neles contidas, mas não necessariamente a qualidade da melhor solução para o usuário no sistema projetado.

## Referências

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **CB-02 Projeto 02:146.03-003/1**: sistemas prediais de água fria e quente: procedimento. Rio de Janeiro, 2016.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5626**: sistemas prediais de água fria. Rio de Janeiro, 1998.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7198**: projeto e execução de instalações prediais de água quente. Rio de Janeiro, 1993.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8160**: sistemas prediais de esgoto sanitário: projeto e execução. Rio de Janeiro, 1999.
- BIOTTO, C. N.; FORMOSO, C. T.; ISATTO, E. L. Uso de Modelagem 4D e Building Information Modeling na Gestão de Sistemas de Produção de Empreendimentos de Construção. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 15, n. 2, p. 65-77, abr./jun. 2015.
- BRÍGITTE, G. T. N.; RUSCHEL, R. C. Modelo de Informação da Construção Para o Projeto Baseado em Desempenho: caracterização e processo. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 16, n. 4, p. 9-26, out./dez. 2016.
- BUILDINGSMART. Industry Foundation Classes. Version 4 – Addendum 2. Disponível em: <<http://www.buildingsmart-tech.org/ifc/IFC4/Add2/html/>>. Acesso em: 15 jan. 2018.
- COSTA, C. H. de A.; STAUT, S. L. S.; ILHA, M. S. O. Projeto de Sistemas Prediais Hidráulicos Sanitários com BIM: mapeamento da literatura. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 14., Maceió, 2014. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2014.

- COSTA, C. H. de A; ILHA, M. S. de O. Componentes BIM de Sistemas Prediais Hidráulicos e Sanitários Baseados em critérios de Desempenho. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 17, n. 2, p. 157-174, abr./jun. 2017.
- DIMYADI, J.; AMOR, R.; SPEARPOINT, M. Sharing Building Information Using the IFC Data Model for FDS Fire Simulation. In: IAFSS SYMPOSIUM ON FIRE SAFETY SCIENCE. 9., Alemanha, 2008. **Proceedings...** Alemanha, 2008.
- 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**, v. 18, n. 2, p. 83-9, 2013.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 16739**: Industry Foundation Classes (IFC) for data sharing in the construction and facility management industries. Brussels, 2013.
- LEE, J. **Automated Checking of Building Requirements on Circulation Over a Range of Design Phases**. Georgia, 2010. Dissertation (Degree Doctor of Philosophy) – College of Architecture, Georgia Institute of Technology, Georgia, 2010.
- LIPP, J. **Self-Configuring Rulesets**. 2015. Disponível em: <<https://solibri.wordpress.com/tag/self-configuring-rulesets/>>. Acesso em: 26 out. 2015.
- RUSCHEL, R. *et al.* 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: 3 dez. 2014.
- SOLIHIN, W.; EASTMAN, C. Classification of Rules for Automated BIM Rule Checking Development. **Automation in Construction**, v. 53, p. 69-82, 2015.
- TAKAGAKI, C. Y. K. **Regras de Verificação e Validação de Modelos BIM Para Sistemas Prediais Hidráulicos e Sanitários**. São Paulo, 2016. 113 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2016.
- TAKAGAKI, C. Y. K.; OLIVEIRA, L. H.; CORRÊA, F. R. Regras de Verificação de Modelos BIM Para Sistemas Prediais de Esgoto Sanitário. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., São Paulo, 2016. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2016.
- WU, S. *et al.* An IFC-Based Space Analysis for Building Accessibility Layout For All Users. **Construction Innovation**, v. 4, n. 3, p. 129-141, 2004.
- ZHANG, S. *et al.* Building Information Modeling (BIM) and Safety: automatic safety checking of construction models and schedules. **Automation in Construction**, v. 29, p. 183-195, 2013.

Fabiano Rogério Corrêa

Departamento de Engenharia de Construção Civil, Escola Politécnica | Universidade de São Paulo | Av. Professor Almeida Prado, Trav. 2, 83, Edifício da Engenharia Civil, Sala 46, Cidade Universitária | São Paulo - SP - Brasil | CEP 05508-900 | E-mail: fabiano.correa@usp.br

Lúcia Helena de Oliveira

Departamento de Engenharia de Construção Civil, Escola Politécnica | Universidade de São Paulo | E-mail: lucia.helena@usp.br

Carolina Yumi Kubo Takagaki

Brookfield Brasil | Av. das Nações Unidas, 14261 - Ala B, 15º andar - Vila Gertrudes | São Paulo - SP - Brasil | CEP 04794-000 | E-mail: carolina.takagaki@br.brookfield.com

### **Revista Ambiente Construído**

Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído

Av. Osvaldo Aranha, 99 - 3º andar, Centro

Porto Alegre - RS - Brasil

CEP 90035-190

Telefone: +55 (51) 3308-4084

Fax: +55 (51) 3308-4054

[www.seer.ufrgs.br/ambienteconstruido](http://www.seer.ufrgs.br/ambienteconstruido)

E-mail: [ambienteconstruido@ufrgs.br](mailto:ambienteconstruido@ufrgs.br)



This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License.