

VERIFICAÇÃO AUTOMATIZADA DE REQUISITOS REGULAMENTARES EM PROJETOS HOSPITALARES COM O USO DE BIM¹

SOLIMAN JR., Universidade Federal do Rio Grande do Sul, email: joao.juniorr@gmail.com;
FONSECA, V. F. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, email: vitorffonseca@gmail.com
FORMOSO, C. T., Universidade Federal do Rio Grande do Sul, email: formoso@ufrgs.br
TZORTZOPOULOS, P. *University of Huddersfield*, email: P.Tzortzopoulos@hud.ac.uk

ABSTRACT

The impact of the design and the built environment on health outcomes has been widely discussed in the literature. The design phase for healthcare buildings is essential as it can contribute positively to the health and well-being of its users. However, healthcare projects are mostly undertaken based on manual methods, which are not capable of dealing with its complexity. Design reviews are a fundamental part of healthcare projects assessment. When these are developed manually they tend to be inconsistent, take a long time and are prone to errors. The aim of this paper is to explore the role of BIM-based automated rule checking in a hospital design. The main contribution is related to identifying the potential and limitations of using current software to perform automated tasks on healthcare design review. Additionally, it was possible to understand how other related BIM-based activities could support the development of better designs, by using geometry-based visualization, as well as semantic-rich information repositories.

Keywords: BIM. Healthcare design. Automated rule-checking.

1. INTRODUÇÃO

Projetos adequados de ambientes hospitalares e da saúde tendem a contribuir positivamente para os resultados finais de tratamentos terapêuticos, existindo uma relação direta entre a qualidade do ambiente hospitalar, dos serviços desenvolvidos e dos resultados finais dos tratamentos médicos (TZORTZOPOULOS; CHAN; COOPER, 2005; BALDAUF et al. 2015). Em um contexto de projeto de edificações, é reconhecido que nesta fase ocorrem as melhores oportunidades para melhorar a eficiência na etapa de produção e aumentar geração de valor para os usuários finais destes espaços (ENACHE-POMMER et al., 2010; KEMMER et al., 2011).

Apesar da importância da etapa de projeto para o ambiente construído hospitalar, muitos dos processos de tomada de decisão ainda são conduzidos com o suporte de técnicas puramente manuais (EASTMAN et al., 2009), como a verificação de requisitos regulamentares e de tolerâncias. Geralmente, estas técnicas produzem resultados inconsistentes e propensos ao erro (NAWARI, 2013; ZHANG; EL-GOHARY, 2015), principalmente diante da complexidade do ambiente construído hospitalar e das regulamentações envolvidas. Este artigo tem como objetivo explorar a utilização de abordagens baseadas em *Building*

¹SOLIMAN JR., J., FONSECA, V. F., FORMOSO, C. T., TZORTZOPOULOS, P. Verificação automatizada de requisitos regulamentares em projetos hospitalares com o uso de BIM In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 17., 2018, Foz do Iguaçu. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2018.

Information Modelling (BIM) em um projeto hospitalar para verificação automatizada de requisitos regulamentares.

2. MÉTODO

Este artigo faz parte de uma pesquisa mais abrangente que está sendo desenvolvida de acordo com a abordagem *Design Science Research* (DSR). Esta estratégia pode ser definida como um procedimento para produzir construções inovadoras, com o objetivo de solucionar problemas enfrentados no mundo real, e assim, contribuir para a teoria da disciplina no qual é aplicada (LUKKA, 2003). O exposto neste artigo compreende a fase de compreensão do problema e incubação da solução, exposta por Holmström, Ketokivi e Hameri (2009) como a etapa inicial da DSR.

Foi realizado um estudo empírico em colaboração com um Hospital na região de Porto Alegre/RS. Duas novas edificações estão sendo construídas dentro do complexo hospitalar, cuja área corresponde a aproximadamente 84.000m². Em uma destas edificações será reinstalado o setor da Emergência, que compreende o escopo deste artigo. Quatro atividades foram desenvolvidas, e dizem respeito a explorar o uso de *software* comercialmente disponível para suporte ao desenvolvimento de atividades automatizadas em projetos de edificações hospitalares: (i) modelagem da edificação com nível de desenvolvimento (LOD) mínimo igual a 350², com suporte do *software* Autodesk Revit®; (ii) verificação automatizada de inconsistências geométricas, com suporte do *software* Solibri Model Checker® (SMC) para fins de validação interna do modelo; (iii) classificação dos requisitos da Resolução RDC nº 50 (AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA, 2002) em função de (a) possibilidade de tradução em regra lógica e (b) de acordo com as classes de regras paramétricas definidas por (SOLIHIN; EASTMAN, 2015); e (iv) verificação automatizada de um conjunto de regras paramétricas, a partir da tradução de regulamentos da RDC 50, com o uso do *software* Solibri®.

3. RESULTADOS

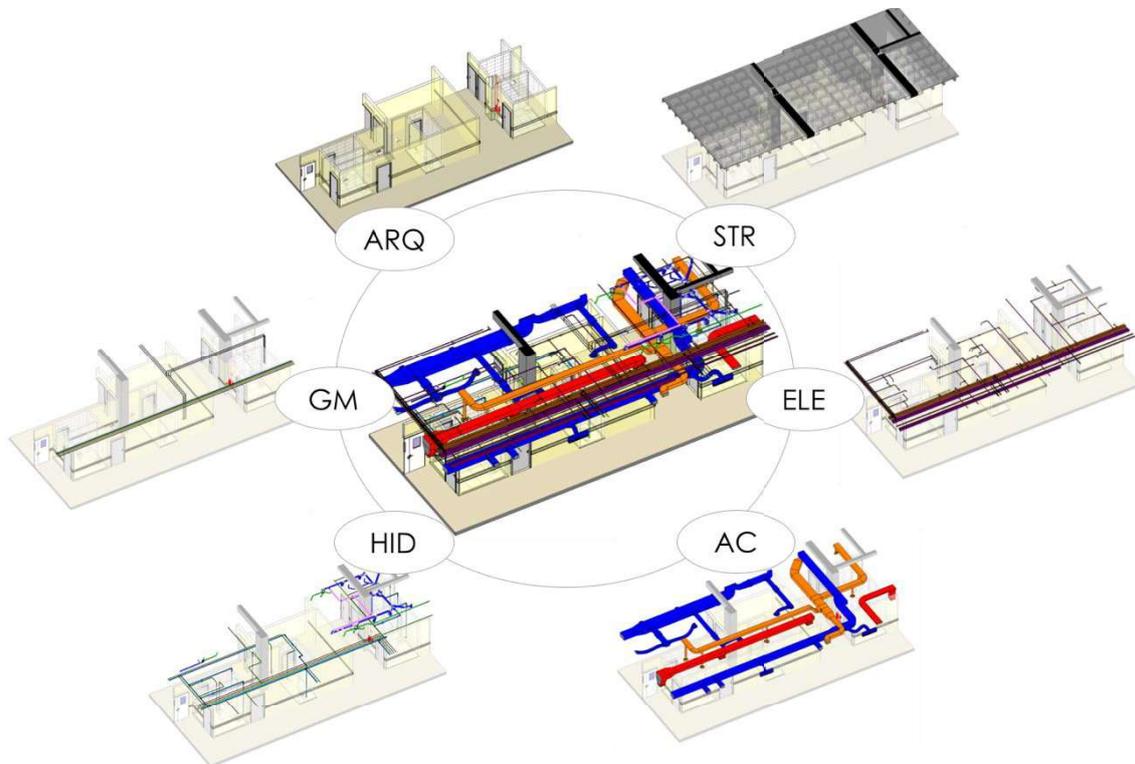
3.1. Modelagem da Seção Crítica

O modelo virtual da edificação foi desenvolvido com suporte do *software* Autodesk Revit®. A partir do LOD mínimo igual a 350, foi possível desenvolver o modelo para fins de verificação automatizada. A seção do ambiente construído modelada corresponde a uma área de 140m² localizada na área de diagnóstico e terapia do setor da Emergência. Ela compreende uma intersecção entre dois corredores, o que caracteriza este como o trecho mais crítico do projeto em estudo, devido à elevada concentração de instalações de sistemas prediais. Foram modeladas as seguintes disciplinas: (i) arquitetura (ARQ); (ii) estrutura (STR); (iii) elétrica (ELE); (iv) hidráulica (HID); (v) ar

² LOD 350 corresponde ao desenvolvimento de um modelo que é preciso em relação a quantidades, formas, localizações, orientações e interfaces dos objetos com demais sistemas construtivos, onde são adicionadas informações não gráficas (semânticas) (BIMFORUM, 2016).

condicionado (AC); e (vi) gases medicinais (GM). Na Figura 1, é possível observar a seção crítica do estudo, bem como todos os projetos modelados.

Figura 1 – Seção de estudo



Fonte: desenvolvida pelos autores.

3.2. Verificação automatizada de inconsistências geométricas

A verificação automatizada de inconsistências, comumente denominada *clash detection*, visa determinar as incompatibilidades geométricas que resultam em conflitos entre dois ou mais objetos no modelo. Esta atividade mostrou-se fundamental para a compatibilização de projetos complexos compostos de diversas disciplinas, principalmente se desenvolvidos por diferentes envolvidos, como no caso do projeto. Neste estudo, a verificação de inconsistências foi realizada com apoio do software Solibri®, somente para fins de verificação de conformidade e validação interna do modelo. Nesse sentido, esta etapa teve função fundamentalmente operacional, para viabilizar a execução da verificação automatizada em um modelo do ambiente construído consistente e coerente.

3.3. Classificação da RDC 50

Neste estudo, a partir do mapeamento da RDC 50, foram identificados 1284 requisitos. Destes, aproximadamente 63% apresentaram potencial para tradução em regra lógica, com base na possibilidade de reestruturação das frases em função de dois tipos de elementos: (i) **conteúdo** (por exemplo, informações associadas aos objetos, propriedades e localizações); e (ii) **condição** (por exemplo, ausência/presença, maior/menor que, contém/não contém). A Figura 2, a seguir, exemplifica estes critérios em um requisito

regulamentar oriundo da Resolução RDC nº 50.

Figura 2 – Estratégia para transformação do requisito regulamentar em regra lógica

A área externa para desembarque de ambulâncias	CONTEÚDO
deve ter área mínima coberta igual ou superior a 21,0 m ² .	CONDIÇÃO

Fonte: Os autores.

A partir da classificação de regras paramétricas definidas por Solihin e Eastman (2015), foi possível determinar que destes 63% de requisitos regulamentares possíveis de serem transformados em regras lógicas, aproximadamente 98% pertencem à classe 1 ou 2, o que, de acordo com os autores, representa regras de baixa complexidade lógica.

3.4. Verificação automatizada de requisitos

A obtenção dos elementos de conteúdo e de condição dos requisitos regulamentares forneceu suporte para a modelagem de algumas das regras na interface do Solibri®, denominada *Ruleset Manager*. Esta atividade está associada à possibilidade de verificação de diferentes tipos de requisitos regulamentares com o suporte desta ferramenta. O *software* possui uma biblioteca de regras pré-programadas que servem como bases editáveis para a modelagem de novas regras. Regras que envolvem a programação de novas variáveis a serem verificadas podem ser criadas com o acesso à API (Interface de Programação de Aplicação) do *software*, o que não foi possível neste estudo.

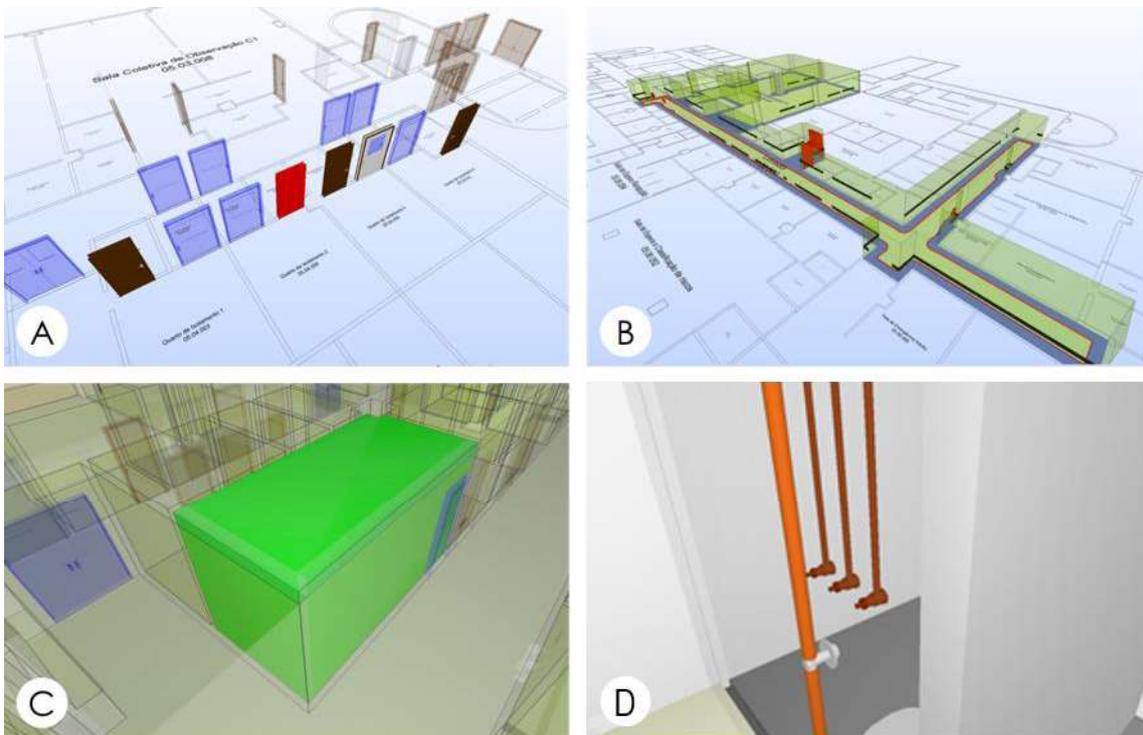
Na Tabela 1 estão relacionados quatro requisitos regulamentares verificados com suporte do Solibri®, e as demais relações destes à verificação automatizada. A Figura 3 representa, de forma visual, a verificação dos requisitos da Tabela 1, cujas tipologias de verificação são comumente observadas na Resolução RDC nº 50.

Tabela 1 – Verificação por tipo de requisito

Item	Tipologia de Verificação	Exemplo (Requisito Regulamentar RDC 50)	Elementos IFC Relacionados	Regra Nativa do Solibri®
A	Propriedades específicas de objetos específicos	Verificação da existência de visores em portas dos quartos de isolamento (seção 4.3)	<i>IfcDoor</i> <i>IfcSpace</i>	SOL/230/1.1
B	Dimensões mínimas de espaços complexos, considerando a área livre de passagem	Verificação da largura dos corredores com comprimento superior a 11,0m (seção 4.3)	<i>IfcSpace</i>	SOL/209/1.2
C	Dimensões e propriedades de espaços simples	Verificação da área e altura de espaços determinados (seção 2.1)	<i>IfcSpace</i>	SOL/230/1.1
D	Presença de objetos/sistemas específicos em espaços específicos	Verificação da existência de determinados sistemas de instalações prediais em espaços específicos (seção Instalações Prediais)	<i>IfcSpace</i> <i>IfcFlowTerminal</i>	SOL/230/1.1

Fonte: desenvolvida pelos autores.

Figura 3 – Verificação automatizada de regras no Solibri Model Checker®



Fonte: desenvolvida pelos autores.

Percebe-se que algumas destas regras não são verificadas de forma satisfatória no Solibri®, como as tipologias de verificação associadas ao item B, da Tabela 1 (Figura 3B), dentre outras. Isso se deve, basicamente, ao chamado “efeito caixa-preta”, já relatado pela literatura (LEE et al., 2016; PREIDEL; BORRMANN, 2016; SOLIHIN; EASTMAN, 2016). Este fenômeno ocorre porque o processamento das regras no Solibri® (abordagem codificada) é oculto sob a interface do software. Muitas vezes não é possível determinar se a regra verifica o que lhe foi solicitado, o que demanda a necessidade de forçar a ocorrência de erros. Apesar disso, acredita-se que ferramentas como esta tem grande potencial, uma vez que o esforço despendido em criar as regras representa um estágio inicial, e que os resultados a longo prazo serão positivos, caso a verificação possa ser feita de acordo com uma abordagem mais flexível e transparente. Ainda, as demais tipologias de verificação (Figura 3: A, C e D) puderam ser verificados de forma simples e satisfatória.

Apesar disso, outro fator limitante para o uso deste tipo de ferramenta está na forma como as regulamentações e normativas são elaboradas. A partir do pressuposto de que a avaliação é feita de forma manual, por humanos, muitos códigos e regulamentos são formulados incluindo, implicitamente, subjetividade e a necessidade de interpretação para fins de verificação da conformidade de atributos do ambiente construído aos requisitos regulamentares. Ao longo da classificação da Resolução RDC nº 50, foram identificados requisitos como os acessos devem permitir um maior controle da movimentação no EAS (Estabelecimento Assistencial de Saúde), evitando-se o tráfego indesejado em áreas restritas, o cruzamento desnecessário de pessoas e serviços diferenciados, além dos problemas decorrentes de desvios de materiais, presente na seção 4.1 da Resolução RDC nº 50. Dessa forma, os 37% dos requisitos em que a tradução em regra lógica não foi possível de ser realizada dizem respeito a situações similares a esta, em que há a necessidade de interpretação humana para determinar a conformidade dos atributos de projeto ao requisito regulamentar. Existe, portanto, a demanda por uma mudança de paradigmas na elaboração destes documentos e normativas, tendo como premissa a incorporação de tecnologias emergentes e o desenvolvimento de sentenças que permitam diminuir a subjetividade envolvida, sem tornar o processo altamente prescritivo.

4. CONCLUSÕES

Neste estudo, apesar das limitações identificadas, percebeu-se o benefício potencial da verificação automatizada para requisitos regulamentares, a partir do uso de BIM no ambiente construído hospitalar. O contexto hospitalar aparenta ser um uso promissor de métodos de verificação automatizada, uma vez que uma parcela considerável dos requisitos regulamentares identificados a partir da análise da Resolução RDC nº 50 (63%) poderiam ser transformados em regras lógicas, para fins de serem aplicados à verificação automatizada.

Contudo, a partir do desenvolvimento deste estudo, foram identificados dois fatores fundamentais para que estes benefícios possam ser atingidos: (i) é necessária uma mudança de paradigmas relacionada à forma como as

normas são desenvolvidas, diminuindo a necessidade de interpretação humana para fins de verificação da conformidade de requisitos regulamentares; e (ii) a utilização de técnicas automatizadas baseadas em BIM reforça a necessidade do desenvolvimento de métodos de projetos mais robustos e de abordagens e ferramentas computacionais mais flexíveis, permitindo a exploração máxima dos benefícios oriundos da tecnologia.

Por fim, este estudo demonstra que o uso contínuo de BIM, e de métodos automatizados baseados nesta abordagem, está na direção correta. Isso se deve à necessidade de prover melhores projetos hospitalares, por meio de técnicas capazes de lidar com a complexidade envolvida no projeto destes ambientes, capazes de promover melhores resultados para os sistemas de saúde.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao CNPq pelo apoio financeiro a esta pesquisa e aos funcionários do Hospital, bem como às equipes de Arquitetura e Engenharia, pela colaboração e oportunidade de desenvolvimento deste estudo.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. **Resolução – RDC nº 50**, 2002. Disponível em: < http://www.anvisa.gov.br/anvisalegis/resol/2002/50_02rdc.pdf>

BALDAUF, J. P.; SHIGAKI, J. S.; ETGES, A. P.; VILAMAYOR, J.; TZORTZOPOULOS, P.; FORMOSO, C. T. Gestão de requisitos com apoio de tecnologias BIM em empreendimentos hospitalares. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GESTÃO E ECONOMIA DA CONSTRUÇÃO, 9, 2015, São Carlos. **Anais** São Carlos: Universidade Federal de São Carlos, p. 536–544, 2015.

BIMFORUM. **Level of Development Specification**, 2016. Disponível em: <<https://bimforum.org/lod/>>

EASTMAN, C. et al. Automatic rule-based checking of building designs. **Automation in Construction**, v. 18, n. 8, p. 1011–1033, 2009.

ENACHE-POMMER, E.; HORMAN, M. J.; MESSNER, J. I.; RILEY, D. A Unified Process Approach to Healthcare Project Delivery: Synergies between Greening Strategies, Lean Principles, and BIM. In: CONSTRUCTION RESEARCH CONGRESS, 2010, Banff. **Proceedings...** Banff:ASCE, 2010, p. 1376-1405.

HOLMSTRÖM, J.; KETOKIVI, M.; HAMERI, A.-P. Bridging Practice and Theory : A Design Science Approach. **Decision Science**, v. 40, n. 1, p. 65–87, 2009.

KEMMER, S.; KOSKELA, L.; SAPOUNTZIS, S.; CODINHOTO, R. A lean way of design and production for healthcare construction projects. In: HACIRIC INTERNATIONAL CONFERENCE, 2011, Manchester. **Proceedings...** Manchester: HaCIRIC, 2011. Disponível em: <<http://eprints.hud.ac.uk/25917/>>

LEE, H. et al. Translating building legislation into a computer-executable format for evaluating building permit requirements. **Automation in Construction**, v. 71, p. 49–61, 2016.

LUKKA, Kari. The constructive research approach. **Case study research in logistics**. Publications of the Turku School of Economics and Business Administration, Series B, v. 1, n. 2003, p. 83-101, 2003.

NAWARI, O. N. SmartCodes and BIM. In: STRUCTURES CONGRESS, 2013. **Proceedings...** 2013. p. 928-937. doi: 10.1061/9780784412848.082

PREIDEL, C.; BORRMANN, A. Towards code compliance checking on the basis of a visual programming language. **Journal of Information Technology in Construction**, v. 21, n. July, p. 402–421, 2016.

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

SOLIHIN, W.; EASTMAN, C. M. A knowledge representation approach in BIM rule requirement analysis using the conceptual graph. **Journal of Information Technology in Construction**, v. 21, p. 370–401, 2016.

TZORTZOPOULOS, P.; CHAN, P.; COOPER, R. Requirements management in the design of primary healthcare facilities. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GESTÃO E ECONOMIA DA CONSTRUÇÃO, 4., 2005, Porto Alegre. **Anais....** Porto Alegre: ANTAC, 2005.

ZHANG, J.; EL-GOHARY, N. M. Automated Information Transformation for Automated Regulatory Compliance Checking in Construction. **Journal of Computing in Civil Engineering**, v. 29, n. 4, 2015.