

Levantamento de edificações existentes para modelagem BIM**Survey of existing buildings for BIM modeling**

DOI:10.34117/bjdv6n10-474

Recebimento dos originais: 13/09/2020

Aceitação para publicação: 22/10/2020

Luana Rodrigues Gomes

Graduanda de Engenharia Civil

Instituição: Universidade Federal de Juiz de Fora

Endereço: Rua Dr. Eurico Viana, nº 380, Vila Alpina, Juiz de Fora – MG

E-mail: luana.gomes@engenharia.ufjf.br

Josilene de Fátima Toledo

Graduanda de Engenharia Civil

Universidade Federal de Juiz de Fora

Endereço: Av. Presidente Itamar Franco, 728, apto 1203, centro, Juiz de Fora, Minas Gerais

E-mail: josilene.toledo@engenharia.ufjf.br

Maria Aparecida S Hippert

Doutora em Engenharia

Universidade Federal de Juiz de Fora

Endereço: Campus Universitário, 4ª. Plataforma, CEP: 36036-900 Juiz de Fora/MG Brasil

E-mail: aparecida.hippert@ufjf.edu.br

RESUMO

A Modelagem da Informação da Construção (BIM) de edificações existentes pode implicar na realização de um levantamento, seja ele tradicional ou fazendo uso de recursos tecnológicos. Neste trabalho buscou-se compreender como o tipo de levantamento realizado impacta a modelagem da construção. Para tanto fez-se uso de uma revisão sistemática da literatura (RSL). Os resultados apontam que os levantamentos podem levar a elaboração da modelagem BIM de forma manual, semi-automatizada ou automatizada.

Palavras-chave: Levantamento de Edificações, Modelagem da Informação da Construção, BIM.

ABSTRACT

Building Information Modeling (BIM) of existing buildings may involve conducting a survey, either traditional or making use of technological resources. In this work we sought to understand how the type of survey performed impacts the construction modeling. For this purpose, a systematic literature review (RSL) was used. The results indicate that the surveys can lead to the elaboration of the BIM modeling in a manual, semi-automated or automated way.

Keywords: Building Surveys, Building Information Modeling, BIM.

1 INTRODUÇÃO

As décadas de uso da edificação sujeita-a ao desgaste, principalmente ao considerar que a etapa de uso é a mais extensa do seu ciclo de vida (SANCHES, 2010). Pesquisas apontam que em países como os Estados Unidos, as novas construções representam apenas uma pequena parte (de 2% a 3%) do estoque de edifícios existentes em um determinado ano (BROWN et al., 2005 apud KLEIN; LI; BECERIK-GERBER, 2012). Isto evidencia a predominância de edifícios já existentes e a importância de reformas e manutenções nos mesmos, já que estes precisam ser capazes de atender as necessidades dos usuários ao longo do tempo.

Nesse sentido, Akcamete et al. (2010 apud DEZEN-KEMPTER et al., 2017) apontam a importância do uso de modelos BIM (*Building Information Modeling* ou Modelagem de Informação da Construção) para Operação e Manutenção de edifícios. O BIM pode ser definido como “o processo de gerar, armazenar, gerenciar, trocar e compartilhar informações de edifícios de maneira interoperável e reutilizável” (VANLANDE; NICOLLE; CRUZ, 2008 apud EADIE et al., 2013, p. 145). Assim, ele pode fornecer informações do estado atual da edificação, acompanhando seu comportamento e deterioração, além de seu histórico de manutenção e reformas anteriores (AKCAMETE et al. 2010 apud DEZEN-KEMPTER et al., 2017).

A modelagem digital de uma edificação existente se depara com alguns desafios, uma vez que trata-se de elaborar um modelo *as built*, traduzido do inglês “como construído”, a partir de uma série de registros anteriores (CANUTO; MOURA; SALGADO, 2016). Tais registros podem ser mais arcaicos, feitos a lápis em papel manteiga, ou pode-se tratar de uma representação digital, feito por programas como AUTOCAD. Entretanto, nota-se a existência de edificações sem qualquer representação gráfica, ou ainda, que possuam registros com informações muito desatualizadas. Por isso, a modelagem digital da construção pode exigir a realização de um levantamento da edificação para alimentação do modelo.

O levantamento de edifícios existentes reconstrói o projeto a partir de informações reais da construção, por isso pode ser considerado um processo de engenharia reversa (MACHADO; RUSCHEL, 2018). A exatidão das medidas coletadas em um levantamento é de fundamental importância, para que isso seja alcançado é preciso um levantamento métrico de precisão, a fim de garantir um projeto fiel à edificação (OLIVEIRA, 2008).

Groetelaars (2015 apud BASTIAN, 2015) classifica o levantamento métrico em relação ao método utilizado para realizá-lo. Pode-se fazer uso de métodos diretos de medição, no qual é necessário o contato físico do operador ou do equipamento com o que será levantado. Ou ainda utilizar-se de métodos indiretos de medição, os quais possuem sensores que emitem energia para a

medição dos objetos, eles podem ser ativos, como é o caso da varredura a laser, ou passivos, onde se enquadra a fotogrametria. A escolha do método a ser utilizado decorrerá da finalidade do levantamento, das dimensões do objeto, e da forma de apresentação dos produtos.

Baseado nestas definições, consideramos que o levantamento de uma edificação pode ser feito de maneira tradicional ou de forma mais atualizada. Um levantamento tradicional utiliza de métodos diretos de levantamento métrico e demais procedimentos manuais, através de instrumentos simples como trenas e níveis. Por outro lado, o levantamento pode ser modernizado utilizando métodos indiretos de levantamento métrico, tornando-o mais preciso e menos suscetível a falhas humanas (GROSSKOPF *et al.*, 2019). O uso dos instrumentos indiretos de levantamento foi popularizado na última década por gerar uma quantidade enorme de dados, comparado com outros instrumentos de levantamento, em curto espaço de tempo e em situações de acesso limitado e/ou perigosa (DEZEN-KEMPTER *et al.*, 2015).

Eastman *et al.* (2011) destacam que uma das abordagens mais promissoras e de rápido desenvolvimento para a gestão da informação *as built* é a modelagem BIM de um edifício. Neste sentido, muitas são as pesquisas voltadas a este fim, Dezen-Kempter *et al.* (2015) apresentam uma série de trabalhos que comparam abordagens e tecnologias de captura da realidade a fim de elaborar modelos tridimensionais *as built*. Tais pesquisas englobam tanto edifícios existentes, incluindo edifícios históricos, visando otimizar o processo de manutenção e operação.

Entretanto, a exemplo do Brasil, os levantamentos de edificações baseados em tecnologias de digitalização ainda são pouco realizados, o que sugere a predominância do levantamento tradicional no país (GROETELAARS; AMORIM, 2008 apud BASTIAN, 2015). Dessa forma, o objetivo deste trabalho é analisar, com base em estudos já produzidos, o levantamento de edificações existentes visando a modelagem BIM, procurando entender como os tipos de levantamento interferem nesta modelagem. Esta pesquisa faz-se necessária em face da esperada crescente utilização do BIM no Brasil.

2 MATERIAL E MÉTODOS

A metodologia utilizada neste trabalho foi a Revisão Sistemática da Literatura (RSL). Ela é direcionada por uma metodologia rígida e uma sequência de etapas, na qual a busca é pautada por uma questão bem definida a fim de produzir uma avaliação crítica sobre determinado tema (GALVÃO; PEREIRA, 2014).

A revisão sistemática da literatura que deu origem a este trabalho teve como questão motivadora: “Qual o panorama da produção científica sobre o uso do BIM na gestão da

manutenção?”. A partir da análise da amostra percebeu-se a divisão do conteúdo em duas áreas distintas, sendo o foco deste trabalho na área de Levantamento para modelagem BIM. O procedimento adotado nesta RSL é descrito a seguir.

Considerou-se as bases de dados: Ambiente Construído (AC), Revista Pesquisa em Arquitetura e Construção (PARC) e Revista Gestão & Projeto (G&P). Além destes periódicos nacionais, considerou-se também a base *Scopus*.

Definiu-se então os termos de busca a serem utilizados na pesquisa: Manutenção, Edifícios, Manual do usuário, BIM e *Facilities Management*. Buscou-se tais termos em português e inglês, inserindo-os individualmente e combinados entre si, a fim de direcionar as buscas. Desta forma realizou-se 19 conjuntos de termos em cada periódico: Manutenção, *Maintenance*; Manutenção AND Edifícios, *Maintenance AND Building*; "Manutenção de Edifícios"; Manual do usuário, *User manual*; Manutenção AND Manual, *Maintenance AND User manual*; BIM, "*Building Information Model*"; Manutenção AND BIM, *Maintenance AND BIM*; *Maintenance AND Building AND "user manual"*; "*Facilities Management*"; "*Facilities Management AND BIM*"; "*Facilities Management AND Maintenance*"; "*Facilities Management AND Maintenance AND BIM*"; *Building AND Maintenance AND BIM*.

Durante a realização das pesquisas houve a necessidade de especificação de periódicos dentro da base Scopus, para obter um resultado mais direcionado ao conteúdo desejado. Desta forma, adotou-se os periódicos *Building and Environment*, *Automation In Construction* e *Facilities*. Ainda na base Scopus, em função do volume de dados obtidos, foram utilizados os filtros: *article*, *Engineering* e *Computer Science*.

Como a pesquisa busca por artigos de periódicos foram realizadas exclusões gerais, como artigos de evento e editoriais, além disso, atentou-se para eliminar possíveis repetições de textos resultantes, visto que a busca com um termo individual e combinado com outro, resultou em algumas repetições de artigos dentro de uma mesma base de dados. De posse dos artigos não repetidos prosseguiu-se para as fases de exclusão, que consistiu na análise de títulos e de resumos. Na análise de títulos eliminou-se trabalhos cujos títulos não foram relevantes à pesquisa, e na análise de resumo eliminou-se trabalhos em que o conteúdo do resumo foge do proposto pela pesquisa.

A amostra de 36 trabalhos foi classificada em três áreas de conteúdo: Manutenção, Manual do Usuário e BIM na manutenção. Partiu-se para a etapa de leitura integral dos trabalhos selecionados, concentrando-se na área BIM na manutenção, analisando 23 trabalhos. Assim, foram excluídos trabalhos cujos conteúdo não se relaciona ao tema, obtendo a amostra de 12 trabalhos. Identificou-se que tal amostra subdivide-se em outras duas áreas. A primeira área é voltada para a

modelagem BIM a fim de se obter o projeto *as built* e a segunda para a gestão da manutenção através do BIM.

Optou-se por analisar a área de Levantamento para modelagem BIM *as built*, uma vez que a maioria das edificações existentes não foram projetadas com o uso do BIM, tendo em vista que este é uma tecnologia recente. Assim, obteve-se como amostra final 4 trabalhos que serão apresentados a seguir.

Como metodologia complementar ao conteúdo da RSL, utilizou-se também de referências já conhecidas cujo tema e conteúdo se relacionavam com o objetivo proposto, tais como dissertações de mestrado, artigos e normas técnicas referentes ao tema.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Existem diversas ferramentas que apoiam a elaboração do *as built*, dentre elas tem-se a fotografia. Ela atua como um dos meios mais consideráveis de coleta e registro de dados em campo e ainda como um banco de dados para validação das anotações manuais (GROSSKOPF et al., 2019).

Grosskopf et al. (2019) destacam a contribuição do registro fotográfico no processo de modelagem de *as built* de uma edificação existente. Em seu estudo de caso, o trabalho aborda a questão de duas diferentes maneiras, em que se realiza levantamentos convencionais distintos, um apoiado na fotografia tradicional e outro na fotografia 360 graus, analisando o modo que cada uma auxilia na modelagem BIM.

Para modelar um *as built* em BIM, acredita-se que tanto o levantamento de dados, como a validação de informações devam ser mais completos, precisos e fidedignos à realidade, uma vez que as práticas tradicionais estão sujeitas a equívocos humanos (GROSSKOPF et al., 2019). Dessa forma, inserir tecnologias em um levantamento tradicional pode contribuir com o aprimoramento na qualidade da modelagem da informação.

Assim faz-se uso da fotografia 360 graus, tecnologia imersiva que registra uma grande quantidade de dados com apenas um disparo, o que gera menos imagens por ambiente e, conseqüentemente, menos arquivos armazenados. Enquanto que a fotografia tradicional realiza captura fragmentária, o que exige uma grande quantidade de imagens para o entendimento de um espaço. (GROSSKOPF et al., 2019)

A fotografia 360 graus mostrou-se mais adequada à alimentação do modelo BIM do que a fotografia tradicional. Devido às características já citadas, notou-se uma maior agilidade na execução do levantamento de campo bem como na conferência de dados, por não necessitar alternar entre diversas imagens na verificação de informações do espaço (GROSSKOPF et al., 2019).

Destaca-se que o uso desta tecnologia não elimina a necessidade de utilização de métodos diretos de levantamento métrico, mas se concretiza como uma proposta acessível de adaptação do modelo tradicional de levantamento.

O método direto de levantamento, apesar de mais simples, acaba tornando-se caro, moroso e incapaz de registrar fielmente as especificidades de todos os componentes da edificação, a depender da complexidade da mesma e do nível de detalhamento exigido (DEZEN-KEMPTER et al., 2017). Tratando-se de edificações históricas, que necessitam de dados precisos para sua representação, restauração e manutenção, este método pode se mostrar inadequado. Nestas edificações é comumente utilizado as tecnologias de digitalização.

Estas tecnologias se caracterizam por coletar grande densidade de informações de forma rápida, registrando com precisão a forma real, as irregularidades, imperfeições, deformações e desgastes da edificação (GROETELAARS; AMORIM, 2012 apud DEZEN-KEMPTER et al., 2015). O escaneamento a laser 3D e fotogrametria são as tecnologias de digitalização mais empregadas para levantamento de edificações (DEZEN-KEMPTER et al., 2015).

A fotogrametria produz imagens que serão digitalizadas no pós-processamento para, então, gerar a forma tridimensional da edificação. Já o escaneamento a laser gera uma nuvem de pontos 3D dos objetos da edificação, possibilitando a extração automática da forma escaneada. As duas tecnologias possuem diferenças de custos de equipamentos e processos de detecção (DEZEN-KEMPTER et al., 2015).

O processo de elaboração do modelo *as built* BIM a partir da nuvem de pontos, ainda se baseia em trabalho manual. O processo de modelagem é facilitado uma vez que utiliza dados tridimensionais ao invés de anotações manuais e croquis, entretanto o mesmo ainda é moroso e está sujeito a erros. (DEZEN-KEMPTER et al., 2015)

Assim no contexto das edificações históricas e patrimônios culturais, estão os trabalhos de Canuto, Moura e Salgado (2016) e Dezen-Kempter et al. (2015). O objetivo do trabalho de Canuto, Moura e Salgado (2016) é apresentar vantagens de tecnologias digitais na preservação do patrimônio histórico. Assim, em seu estudo de caso utilizam o escaneamento a laser, bem como a fotogrametria para cobrir eventuais falhas. Para a representação *as built* faz-se uso do BIM, podendo manipular o modelo gerado através de tecnologias de Realidade Aumentada (RA) e Realidade Virtual (RV). As tecnologias de RA aproximam as informações do espaço físico do usuário, facilitando o acesso e interpretação das mesmas, ainda as tecnologias de RV transportam o usuário para um ambiente de simulação interativa.

O trabalho de Dezen-Kempton et al. (2015) tem como objetivo desenvolver metodologias para a elaboração de modelos BIM de edifícios históricos. Em seu estudo de caso, eles também realizam a modelagem *as built* BIM a partir de levantamentos por fotogrametria e escaneamento 3D. Os autores apontam a necessidade de ferramentas de automação, ou semi-automatizadas, de reconhecimento de componentes de digitalização visando otimizar a etapa de modelagem BIM.

Adan et al. (2011 apud JAEHOON et al., 2011) reitera que a elaboração de um modelo BIM a partir de dados de nuvem de pontos 3D, de tamanho grande, envolve uma série de processos que podem ser trabalhosos e propensos a erros, podendo levar a resultados significativamente diferentes mesmo quando modelados por profissionais especializados.

Existem muitas abordagens que levam a automação da produção do *as built* BIM, entretanto o mesmo também está propenso a erros (JAEHOON et al., 2014). Uma de suas limitações é a automação do processo de digitalização a laser, pois os computadores têm dificuldade de interpretar qualitativamente objetos digitalizados (HIRSCHBERG; STREILEIN, 1996 apud JAEHOON et al., 2014). Atualmente, a automação total sem perda significativa de precisão pode ser obtida apenas sob condições específicas e limitadas, por exemplo um cômodo retangular simples. É por isso que Giel e Issa (2011 apud JAEHOON et al., 2014) destacam que nenhum *as built* BIM totalmente automatizado ainda ganhou ampla aceitação.

Neste sentido, Jaehoon et al. (2014) sugerem que a modelagem totalmente automatizada não é a solução ideal no estágio atual, principalmente tratando-se de ambientes internos. Assim, os autores apresentam uma metodologia para elaboração semi-automática do modelo BIM *as built*, que se baseia na produtividade aprimorada da elaboração manual. Ela propõe diminuir o tamanho da nuvem de pontos extraída, permitindo ao modelador manipular de forma eficiente e com qualidade o desenho geométrico no software BIM. A abordagem proposta pode ser utilizada na criação de BIM *as built* para estruturas enormes e complexas, não somente em situações ideais.

De maneira geral, baseado na análise dos trabalhos apresentados, nota-se que ao utilizar-se o BIM como plataforma para representação e armazenamento dos dados colhidos, suas aplicações serão distintas devido às especificidades de cada tipo de levantamento apresentado. Entretanto, o modelo BIM pode ser criado e alimentado a partir dos dados obtidos por ambos os tipos de levantamentos apresentados, seja ele mais atual, fazendo uso de tecnologias de digitalização, ou tradicional, utilizando-se de medições diretas.

Percebeu-se a tendência em inserir tecnologias no levantamento de edificações, até mesmo naqueles baseados em procedimentos mais tradicionais, bem como na manipulação dos modelos. Os trabalhos apresentam limitações e apontam a automação como possível otimização dos

processos, que, entretanto, não dispensam a necessidade de procedimentos manuais e percepções humanas.

4 CONCLUSÃO

O trabalho utilizou como metodologia a RSL, que levou à sistematização dos conteúdos dos artigos e permitiu estabelecer diversas áreas dentro da temática de interesse. Dessa forma, pode-se agrupar trabalhos distintos, mas que se englobam no mesmo contexto, levando a uma correlação entre eles e permitindo fazer uma análise consistente dentro do universo pesquisado.

Dessa forma, este trabalho buscou identificar e analisar os artigos da literatura sobre o levantamento de edificações existentes voltadas à modelagem BIM.

Dentre os quatro trabalhos analisados, um versa sobre o levantamento tradicional, a partir de medições diretas, e os demais sobre levantamento mais atualizado, baseados em tecnologias de digitalização. Percebeu-se que a elaboração do modelo BIM é um procedimento manual que pode ser facilitado de acordo com o tipo de levantamento realizado. Levantamentos que utilizam-se de tecnologias de captura de realidade produzem dados tridimensionais, tais como nuvem de pontos, que são mais equivalentes à modelagem BIM.

É notório que quanto mais tecnológico e preciso for o levantamento métrico realizado melhor será a qualidade dos dados colhidos, levando a modelagem mais fidedigna da edificação. Apesar dos instrumentos de medição tecnológicos serem mais caros do que os instrumentos tradicionais de medição, utilizar um método mais moderno pode apresentar um maior custo benefício tendo em vista a complexidade da edificação.

Por outro lado, em situações em que os métodos tradicionais são mais adequados ou mais acessíveis a modelagem BIM pode ser feita apesar de não apresentar dados tão precisos quanto ela é capaz de utilizar. Destaca-se que a modelagem BIM pode ser feita independentemente do método, oferecendo vantagens na produção de plantas, gestão das informações e da manutenção do edifício.

Existem propostas que levam a produção automática do modelo BIM a partir dos dados tridimensionais obtidos, tratando-se de levantamentos mais atualizados, mas que ainda estão propensas a erros. Novas propostas sugerem a semi-automatização como uma solução para a modelagem BIM eficiente e de qualidade, uma vez as tecnologias não têm determinadas percepções inerentes ao ser humano, evidenciando a necessidade de sua contribuição neste processo.

Espera-se que o presente trabalho venha a contribuir com a sistematização do conhecimento disponível nos periódicos no que se refere ao levantamento de edificações existentes visando a modelagem BIM das mesmas.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Instituição de Ensino.

REFERÊNCIAS

- BASTIAN, A. V. **Métodos e Técnicas de baixo custo para levantamento métrico de sítios históricos**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo). Universidade Federal da Bahia, Salvador. 2015. 269 f. Disponível em: <https://ppgau.ufba.br/sites/ppgau.ufba.br/files/dissertacao_andrea_bastian.pdf>. Acesso em: 26 de abr. 2020.
- CANUTO, C. L.; MOURA, L. R. DE; SALGADO, M. S. Tecnologias digitais e preservação do patrimônio arquitetônico: explorando alternativas. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, v. 7, n. 4, p. 252-264, dez. 2016. Disponível em: <<https://doi.org/10.20396/parc.v7i4.8647456>>. Acesso em: 5 mar. 2020.
- DEZEN-KEMPTER, et al. ESCANEAMENTO 3D A LASER, FOTOGRAMETRIA E MODELAGEM DA INFORMAÇÃO DA CONSTRUÇÃO PARA GESTÃO E OPERAÇÃO DE EDIFICAÇÕES HISTÓRICAS. **Gestão & Tecnologia de Projetos**, v. 10, n. 2, p. 113-124, nov. 2015. Disponível em: <<https://doi.org/10.11606/gtp.v10i2.102710>>. Acesso em: 6 mar. 2020.
- EADIE et al. BIM implementation throughout the UK construction project lifecycle: An analysis. **Automation in Construction**, v. 36, p.145-151, dez. 2013. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.autcon.2013.09.001>>. Acesso em: 5 mai. 2020.
- EASTMAN et al. **BIM handbook: a guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors**. Nova Jersey: John Wiley & Sons, 2008. *E-book* (490 p.). ISBN: 978-0-470-18528-5. Disponível em: <https://www.academia.edu/3183272/BIM_handbook_A_guide_to_building_information_modeling_for_owners_managers_designers_engineers_and_contractors>. Acesso em: 15 abr. 2020.
- GALVÃO, T. F.; PEREIRA, M. G. **Revisões sistemáticas da literatura: passos para sua elaboração**. *Epidemiol. Serv. Saúde, Brasília*, v. 23, n.1, p. 183-184, jan-mar 2014.
- GROSSKOPF et al. A fotografia 360 graus como ferramenta de suporte à modelagem de "as-built"; **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, v. 10, p. e019021, mai. 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.20396/parc.v10i0.8653839>>. Acesso em: 5 mar. 2020.
- JAEHOON et al. Productive modeling for development of as-built BIM of existing indoor structures. **Automation in Construction**. v. 42, jun. 2014, p. 68-77. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.autcon.2014.02.021>>. Acesso em: 20 jul. 2020.
- KLEIN, L.; LI, N.; BECERIK-GERBER, B. Imaged-based verification of as-built documentation of operational buildings. **Automation in Construction**, v. 21, p. 161-171, jan. 2012. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.autcon.2011.05.023>>. Acesso em: 5 mai. 2020.
- MACHADO, F. A.; RUSCHEL, R. C. Soluções integrando BIM e Internet das Coisas no ciclo de vida da edificação: uma revisão crítica. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, v. 9, n. 3, p. 204-222, set. 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.20396/parc.v9i3.8650216>>. Acesso em: 5 mar. 2020.

OLIVEIRA, M. M. DE. **A Documentação como Ferramenta de Preservação da Memória.** Brasília: IPHAN / Programa Monumenta, 2008. Disponível em <[http://portal.iphan.gov.br/uploads/publicacao/CadTec7_DocumentacaoComoFerramenta_m\(2\).pdf](http://portal.iphan.gov.br/uploads/publicacao/CadTec7_DocumentacaoComoFerramenta_m(2).pdf)>. Acesso em: 29 mai. 2020.

SANCHES, I. D. A. **Gestão da Manutenção em EHIS.** Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010, 185 f. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18141/tde-15072011-102558/publico/iara_sanches.pdf>. Acesso em: 4 mai. 2020.