

Práticas BIM para manutenção e operação de Subestações Elétricas

do Santos Peres I.C., Cardoso A., Lamounier E., Lima G., Miranda M., Moraes I.

Universidade Federal de Uberlândia

Uberlândia – MG - Brasil

Abstract. The emerging of BIM (Building Information Modeling) techniques will change traditional procedures of design and maintenance for electric substations. In addition, Computational Holography, supported by wearable computers, has the potential to allow simultaneous engineering work, based on mixed reality and computer vision capabilities. It is believed that this set of tools will increase engineering design decisions. In this work, we propose a set of techniques to support a complete substation design, which is created by using BIM concepts that explore the Holographic world benefices. Experiments have shown that the coupling of these techniques has the potential to reduce the learning curve of the users, since it changes the way of collaboration among different professional specialists considering simulation intents.

Keywords: Building Information Modeling, Computational Holography, Mixed Reality, Power Electrical Substation

I. INTRODUÇÃO

Uma subestação de energia elétrica é considerada como um sistema altamente crítico de engenharia. Portanto, ferramentas de simulação baseadas em computador desempenham um papel muito importante na preparação de engenheiros para lidar com suas questões de segurança. Nos últimos anos, com o avanço da multimídia e realidade virtual, o setor de energia tem se beneficiado na obtenção de ambientes de simulação, com base nessas técnicas.

De fato, estes sistemas permitem reduzir os tempos de manobra, facilitar a comunicação entre as salas de controle remoto e os operadores no local, bem como melhorar a qualidade do serviço [1,2]. Além disso, Realidade Virtual (VR) tem se beneficiado com esse progresso, tanto em plataformas sofisticadas e populares [3].

Alguns estudos têm explorado VR para muitas aplicações arquitetônicas e de construção. VR tem potencial para ajudar os trabalhadores de manutenção, projetos e gestão, evitando erros e acidentes [4].

Da mesma forma, as iniciativas do BIM cresceram com ferramentas de projeto que fornecem as capacidades necessárias para uma especificação de uma subestação na fase de projeto, gestão e simulação, por exemplo, a criação dos softwares SDS Design Suite® e Inventor®.

Assim, o objetivo geral deste trabalho é avaliar as práticas de BIM para a gestão e planejamento/operação

de procedimentos de subestações elétricas. Devido aos projetos de subestações de energia serem cada vez mais complexos e exigem prazos de entrega mais curtos. Além disso, a necessidade de reduzir os custos obriga os engenheiros não apenas a otimizar seus layouts, mas também a usar os procedimentos de projeto com a máxima eficiência, sem desistir da máxima segurança em relação à informação gerada [7].

II. BIM

O BIM é uma representação digital das características físicas e funcionais de uma instalação, que consiste em uma única fonte compartilhada de informações formando uma base de dados confiável para as decisões ao longo de todo o seu ciclo de vida, desde estudos preliminares até ao fim da sua vida útil.

Desta forma, o BIM traz quantidades e propriedades de componentes tais como características técnicas, exemplos e fabricantes, não apenas um desenho 3D, ou seja, um modelo contido pela geometria das instalações. Ele torna imperativo ao representar um projeto como uma combinação de "modelos geométricos", seus atributos e a relação desses "modelos geométricos" com outros componentes.

Um aspecto do software BIM é que eles definem os objetos em termos paramétricos e pelas relações com outros objetos, de modo que se um parâmetro de um objeto é alterado, todos os parâmetros dependentes são atualizados automaticamente [7]. O BIM oferece a oportunidade de realizar o projeto em espaço "virtual" e definir as informações necessárias antes do uso dos recursos. Em vez de enfrentar problemas e conflitos durante a fase de construção, o BIM oferece a oportunidade - a todos os participantes no processo de projeto - de usar aplicativos baseados em computador para, por exemplo, visualizar o modelo 3D, para antecipar problemas enquanto os projetos ainda estão em andamento. Isto torna possível identificar e selecionar a forma mais adequada de ação na correção ou melhoria do projeto, muito antes do detalhe, especificação ou construção da instalação [8].

Para os profissionais envolvidos em um projeto, o BIM permite que o modelo virtual seja transferido da equipe de projeto para as equipes de construção e montagem, incluindo subfornecedores e, em seguida, para o proprietário. Cada profissional adiciona seus dados específicos à disciplina ao banco de dados, que será compartilhado com toda a equipe. Isso reduz a perda de informações que tradicionalmente ocorre entre as diferentes equipes envolvidas e fornece informações mais

completas aos proprietários de instalações mais complexas.

Com isso, a filosofia BIM é útil e deve ser aplicada ao processo de projeto de subestação. Para o caso específico de grandes subestações elétricas, o processo BIM pode ser acelerado ainda mais se a ferramenta BIM permitir o uso de componentes, estruturas e conjuntos padronizados e pela reutilização desses conjuntos nos projetos [7].

III. REALIDADE VIRTUAL APLICADA

A RV pode ser definida como uma técnica computacional usada para criar um ambiente artificial, no qual o usuário tem a sensação de estar dentro deste ambiente e ter a capacidade de navegar, modificar e interagir com seus objetos de maneira intuitiva e natural” [9].

Dentre algumas das aplicações mais tradicionais estão na área médica os principais são cirurgia e reabilitação, educação e entretenimento, simulações militares, sistemas de manufatura, robótica e visualização da informação. Em alguns procedimentos de treinamento recriados por RV incluem atividades como montagem, desmontagem, manutenção e operação de equipamentos e estruturas complexas, sem expor os participantes e os equipamentos reais a riscos inerentes destas atividades (BURDEA; COIFFET, 2003).

Ambientes de Realidade Virtual compõem valiosas ferramentas para treinamento e operação de sistemas críticos de engenharia. Por se tratar de modelos de interface humano-computador altamente representativos, esses sistemas diminuem as diferenças entre o modelo de operação virtual e o modelo real, propiciando aos operadores uma experiência única de interação. Além disso, possibilitam a realização de treinamento à distância sem perda significativa de informação visual.

As aplicações de RV em subestações de energia elétrica, no entanto, vão além de controle supervisão e operação de manobras [29,30,2]. O planejamento da manutenção nos pátios ou nos equipamentos também pode ser consideravelmente auxiliado por cenários virtuais. Que foi estudado no trabalho de viabilidade de expansão da subestação de Xochimilco (México) [2].

O uso de ambientes virtuais de subestações se proporciona economia de tempo e de gastos, uma vez que os operadores não necessitam se deslocar para estarem dentro da subestação a ser estudada[28,31].

IV. TRABALHOS CORRELATOS

Para desenvolvimento deste trabalho buscou estudar trabalhos relacionados ao desenvolvimento de aplicações baseadas em técnicas de Realidade Virtual que utilizaram os conceitos de BIM para projeto, manutenção, operação ou ensino para o desenvolvimento de sistemas de engenharia. Definimos as palavras Building Information Modeling e Subestações de energia elétrica para selecionar os trabalhos correlatos, poucos trabalhos foram encontrados. Pesquisas com outras palavras também foram realizadas com apenas “Building Information modeling”. Os trabalhos que estavam com maior relação a este foram selecionados e citados a seguir.

1) Realidade Aumentada para Automação de Subestação Utilizando a Comunicação IEC 61850 [13]. Este artigo combinou IEC 61850 com realidade aumentada para adicionar informações visíveis ao usuário para uma subestação de energia. Foram usados marcadores e um

smartphone para implementar o sistema, que se conecta com o SCADA para receber as informações do equipamento da subestação. Este trabalho conclui que um simples sistema de RA pode prover valores significativos para manutenção e inspeções regulares, assim, reduz tempo requerido para essa tarefa e ajuda os engenheiros na manutenção dos equipamentos.

2) Treinamento Virtual de Vigilantes de Incêndio Através de Ambientes Imersivos 3D [16]. Este artigo apresentou um aplicativo de RV interativo para treinar especialistas em prevenção de riscos ocupacionais e mais precisamente sobre segurança contra incêndio em edifícios. A plataforma permite a simulação de incêndios em todo o edifício. O fogo simulado vai reagir com o ambiente, propagando-se de maneiras diferentes, dependendo de vários fatores físicos. A modelagem em BIM foi aplicada à logística da simulação, dando diversas informações sobre o edifício. Desta forma os novos bombeiros beneficiam-se da experiência realista oferecida pela realidade virtual e adquirem conceitos relativos à segurança ao trabalhar em um incêndio de forma interativa.

3) Innovative approach to the substation design using Building Information Modeling (BIM) technology[26]. Este estudo desenvolveu um software baseado em um modelo hospedado BIM, contendo todas as informações dos equipamentos. Ele foi desenvolvido de forma que mostra uma estrutura completa do modelo e suporta trabalhar (editar ou trocar) nessa estrutura em CAD e em nível de banco de dados. O método BIM, que é a base do software, é uma nova abordagem no mundo do design e fornece soluções para a abundância de questões que os engenheiros lidam com em cada projeto, todos os dias. O tempo de projeto da subestação é reduzido consideravelmente e o processo de projeto é simplificado e lógico. Através de uma visão completa de uma subestação e seus aspectos importantes, o software fornece um design rápido, fácil e eficiente. Oferecendo interação entre designers de diferentes ramos. Foram desenvolvidos diversos módulos para que facetassem o trabalho dos engenheiros.

4) Aplicação de Metodologia BIM no Projeto e Construção de Grandes Subestações[7]. Este artigo descreve as soluções adotadas no desenvolvimento de um pacote BIM para projetos de grandes subestações. Eles criaram uma biblioteca de modelos 3D modelados parametricamente, coletaram dados e criaram um banco de dados, na ferramenta do BIM inseriram a interoperabilidade e interface IFC para troca de dados e implementaram o cálculo e análise do sistema de proteção. E conseguiram diversos benefícios para a engenharia de subestações, como, por exemplo, gerenciamento de todo o ciclo de vida do processo, determinação de fatores críticos de execução e de custos na fase inicial de planejamento, capacidade de identificação de interferências, elaboração automática de listas de materiais, geração automática de desenhos 2D associados ao modelo 3D, entre outros.

5) Uso do BIM em Projetos de Infraestrutura[6]. Este trabalho utilizou das ferramentas BIM, navegando pelas várias soluções Autodesk®, para o planejamento de todas as etapas da construção de uma barragem e usina hidroelétrica. Concluíram que ao se construir um modelo virtual de uma obra são necessários conhecimentos e procura de soluções que passam pelas várias disciplinas envolvidas. Isso viabiliza a discussão de aspectos que

normalmente só seriam percebidos durante a execução da obra, com todos os conhecidos transtornos resultantes.

A. COMPARATIVO ENTRE OS TRABALHOS

Como podemos observar, os trabalhos 1, 3, 4 e 5 possuem um objetivo em comum, planejar uma obra utilizando do conceito ou ferramentas BIM. Já objetivo do trabalho 2 é utilizar dos benefícios do BIM para simular um ambiente próximo do real sem que os bombeiros corresse algum risco de vida. Assim como o trabalho 2 o objetivo deste trabalho é utilizar das simulações em realidade virtual, construída com ferramentas BIM para auxiliar a manutenções e operação de Subestações Elétricas.

A Tabela 1 apresenta um julgamento entre os trabalhos correlatos em relação aos aspectos pertinentes de uso do BIM e RV.

Tabela 1. Tabela comparativa entre os trabalhos correlatos.

Trabalhos	BIM	RV	Simulação	Subestação de energia
1				X
2	X	X	X	
3	X	X		X
4	X	X		X
5	X	X		X

A manutenção e operação de subestações de energia elétrica são processos muito importantes, que necessitam de organização e um bom planejamento, pois fazem parte do dia a dia dos engenheiro e técnicos. Espera-se que com a simulação desses processos, construída com uma modelagem paramétrica, diminuam os riscos de acidentes, erros, tempo de resposta e investimentos[14].

Com o estudo de outros trabalhos é possível afirmar que, apesar do BIM ser uma ferramenta muito pouco usada, devido aos custos, porém, ela vem trazendo diversos benefícios nas obras. Espera-se que, assim como em outros estudos, ela possa auxiliar no projeto de manutenção e operação de subestações, por este, possuir várias partes envolvidas, muitas vezes sobrepostas em suas funções com necessidade de realizar a partilha de dados durante vários processos. Isto envolve arquitetos, engenheiros estruturais, engenheiros civis, engenheiros de sistemas elétricos e mecânicos, avaliadores de energia, designers e gerentes de instalações.

Um efeito natural de vários membros participando concomitantemente no processo global é também um aumento dos esforços de coordenação e documentação necessários. A troca de informações e a partilha entre diferentes sistemas de comunicação e disciplinas levou a várias abordagens na modelagem da informação para criação de novas especificações. Assim as empresas podem utilizar do BIM para melhorar a qualidade do modelo de construção, manutenção e operação e torná-lo mais artístico, mais fácil de ser trabalhado e mais preciso.

No futuro, a utilização do modelo BIM durante todo o ciclo de vida da instalação promoverá uma eficiente partilha de informação baseada na Web nos mercados de Arquitetura, Engenharia, Construção e Construção de Propriedade e Exploração (AECO). Por exemplo, as pessoas podem usar o BIM para criar uma linha de tempo e uma sequência de instalação para serem adicionadas aos componentes de um modelo 3D. Eles também podem criar uma simulação de RV permitindo que todos os

envolvidos tenham uma melhor compreensão da instalação dos componentes, de como se dará a operação e ou manutenção. Os modelos BIM também podem ser usados no rastreamento da saúde de uma subestação e para fazer melhorias no futuro. (Eastman et al., 2008).

V. DESCRIÇÃO DO DESENVOLVIMENTO DO AMBIENTE VIRTUAL

Este projeto está sendo desenvolvido e requer algumas etapas para a criação do ambiente de uma realidade virtual. Como protótipo, foi utilizada uma subestação da CEMIG. Assim a metodologia proposta neste artigo é composta pelos seguintes estágios (Fig. 2): A) Aquisição de informações sobre as características da subestação (planos CAD, fotos, vídeos e catálogos de equipamentos), por meio de um protocolo padronizado; B) Definição de técnicas para modelar os componentes tridimensionais de uma subestação, contemplando suas informações construtivas e necessárias para fins de controle, operação e manutenção na simulação; C) Geração de uma base de dados de cada equipamento modelado; D) Geração do ambiente tridimensional; E) Modelos de interface padronizados para melhor controle de navegação, leitura de informações de componentes elétricos e simulação de ocorrências.

B. CRIANDO E EXPORTANDO O BIM PARA O UNITY3D®



Fig. 1. Pipeline para criação do protótipo.

Devido à grande quantidade de informações contidas em um modelo BIM, construir um ambiente virtual realista e que seja capaz de simular todas as propriedades, podendo planejar a manutenção de uma subestação, sem ter a necessidade de coletar projetos ou ter que ir ao local da obra, torna-se um trabalho detalhista. Assim, o processo de concepção requer vários passos e pode variar dependendo do uso do ambiente, como mostrado na Figura 2.

A partir de fotos e documentos de construção (CAD, arquivos de componentes, documentação do fabricante etc.), inicia-se a construção de modelos 3D que irão compor o ambiente virtual (modelagem física e de informação) no Inventor®. A animação de cada modelo é modelada no 3DSMAX®, então é validada e inserida em uma Biblioteca de Modelos, que agrupa ainda fotos e outros documentos.

Para a construção do ambiente virtual, a ideia é utilizar de um sistema que permite a conversão de plantas da subestação em CAD em ambientes virtuais (geração semiautomática para ambientes virtuais, por meio do projeto CAD 2D) [17]. Usando tal mecanismo, um ambiente VR incompleto é gerado, sem cabos e conexões entre os objetos elétricos virtuais distintos. Por fim cria-se os cabos, com script de parábola editável, assim como no ambiente real. Por sua vez, o projeto é enviado para a fase de associação. Aqui, cada elemento do modelo virtual é

associado a um identificador dentro do sistema SCADA [18], gerando condições no ambiente virtual, para apresentar o estado de cada componente monitorado.

C. PROTOCOLO DE AQUISIÇÃO DE DADOS

Um levantamento de local na posição da subestação é necessário para obter a riqueza de imagens essenciais para fornecer o perfil real e conexão entre seus elementos (por exemplo, cabos, barramento elétrico, etc). Este procedimento foi utilizado como uma alternativa mais barata e mais rápida ao 3D Scan, garantindo precisão e similaridade. O processo de digitalização é o primeiro desafio [17] quando se trata de obter o modelo 3D de cada componente das subestações de energia. Assim, uma das principais causas de atraso encontradas na execução de projetos que requerem modelagem 3D é a falta de documentação necessária para a realização de todo o processo. Os elementos que compõem esta documentação incluem o projeto da planta CAD, fotos e vídeos com uma subestação e levantamento de campo de equipamentos, além de catálogos de equipamentos técnicos (folhas de dados), como disjuntores, interruptores de desconexão e outros componentes de subestação, Devido ao fato de que muitas subestações de energia estão em operação há mais de 10 anos.

D. AMBIENTE VIRTUAL

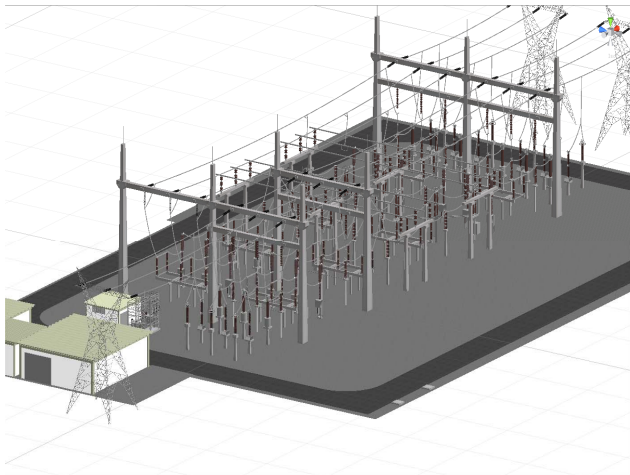


Fig. 2. Subestação Completamente construída

O protótipo concebido pode ser visto na imagem a cima, o projeto está em modo de construção na *Engine Unity*, apresentado na Figura 3. Este projeto ainda está em desenvolvimento, a ideia é criar módulos de simulação para auxiliar os processos de manutenção e operação em subestações e estudar os impactos causados pela aplicação.

VI. CONCLUSÕES

Vários trabalhos que usam RV tiveram resultados satisfatórios em soluções para sistemas críticos de engenharia [2, 16, 21, 23, 28, 30, 31] a maioria relatou que tiveram diminuição do tempo de operação, menor número de falhar, menos acidentes e diminuição de custos em todas as etapas do projeto. Com a junção da RV e BIM espera-se que os benefícios sejam bem maiores e mais precisos, já que com o BIM é possível acompanhar

todas as etapas e alterar os dados sem que haja perda ou inconsistência de documentação.

Através da criação e aplicação do protocolo de aquisição de informação das subestações, foi possível gerir de forma eficaz as questões relacionadas com os dados necessários para iniciar o processo de construção, o que também o tornou um instrumento eficaz para a validação deste material.

Com relação às regras da convenção para modelagem, foi possível identificar que estas são fundamentais para o processo que está associado com tarefas de automação, além de proporcionar melhor desempenho e fluidez ao navegar pelo sistema.

Para trabalhos futuros pretendemos criar módulos que auxiliam nos cálculos, visualização e edição de um ambiente virtual e validar o sistema em conjunto com uma equipe de engenheiros especializados.

VII. AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer ao Programa de Pesquisa e Desenvolvimento da CEMIG GT411, juntamente com a CAPES (Coordenação para o Aperfeiçoamento do Pessoal do Ensino Superior), por todo o apoio financeiro dado a este projeto de pesquisa.

VIII. REFERENCIAS

1. VEH, A. Okapuu-von et al. Design and operation of a virtual reality operator-training system. *Power Systems, IEEE Transactions on*, v. 11, n. 3, p. 1585–1591, Aug 1996.
2. Quintana, J.; Mendoza, E. 3D virtual models applied in power substation projects. In: *Intelligent System Applications to Power Systems, 2009. ISAP '09. 15th International Conference on*. [S.l.: s.n.], 2009. p. 1–3.
3. C.Kirner, T. Kirner, “Evolução e Tendências da Realidade Virtual e da Realidade Aumentada”. *Pré-Simpósio de Realidade Virtual e Aumentada, Uberlândia, 2011*.
4. BO, Jiang et al. BIM Implementation in China: A Case Study Approach. 2015. *International Conference on Information Technology and Management Innovation (ICITMI 2015)*
5. Substation design, <http://substationdesignsuite.com>.
6. Salles, C., C. Uso do BIM em Projetos de Infraestrutura. *Autodesk University Brazil 2012*.
7. Vasconcellos, A. S.; Hernandez L. Aplicação de Metodologia BIM no Projeto e Construção de Grandes Subestações. *Seminário Nacional de Produção e transmissão de Energia Elétrica, 2015, Foz do Iguaçu, PR*.
8. THE NATIONAL BIM STANDARD. Frequently Asked Questions About the National BIM Standard-United States™, <http://www.nationalbimstandard.org/faq.php#faq1>.
9. A. Cardoso, E. Lamounier, “A Realidade Virtual na Educação e Treinamento” In: *Fundamentos e Tecnologia de Realidade Virtual e Aumentada. VIII Pré-Simpósio de Realidade Virtual e Aumentada, Belém, 2006*, pp. 304–312.
10. R.Tori, C. Kirner, “Fundamentos de Realidade Aumentada” In: *Fundamentos e Tecnologia de Realidade*

Virtual e Aumentada. VIII Pré-Simpósio de Realidade Virtual e Aumentada, Belém, 2006, pp. 2-21.

11. Behzadan, A. H.; Iqbal, A. & Kamat, V. R. A Collaborative Augmented Reality Based Modeling Environment for Construction Engineering and Management Education

Proceedings of the Winter Simulation Conference, Winter Simulation Conference, 2011, 3573-3581.

12. Buyuklieva, B. & Kosicki, M. BIM, MAR: Assembling Physical Objects by Virtual Information Proceedings of the 4th International Symposium on Pervasive Displays, ACM, 2015, 257-258.

13. Antonijević, M. S.; Keserica, H.; Augmented Reality for substation Automation by Utilizing IEC 61850 Communication. MIPRO 2016, May 30 June.

14. Oppermann, L.; Shekow, M. & Bicer, D. Mobile Cross-media Visualisations Made from Building Information Modelling Data Proceedings of the 18th International Conference on Human-Computer Interaction with Mobile Devices and Services Adjunct, ACM, 2016, 823-830.

15. Liu, X.; Xie, N. & Jia, J. WebVis_BIM: Real Time Web3D Visualization of Big BIM Data Proceedings of the 14th ACM SIGGRAPH International Conference on Virtual Reality Continuum and Its Applications in Industry, ACM, 2015, 43-50.

16. Diez, H. V.; Garca, S.; Mujika, A.; Moreno, A. & Oyarzun, D. Virtual Training of Fire Wardens Through Immersive 3D Environments Proceedings of the 21st International Conference on Web3D Technology, ACM, 2016, 43-50.

17. Cardoso A., Prado P.R., Lima G.F.M., Lamounier E. (2017) A Virtual Reality Based Approach to Improve Human Performance and to Minimize Safety Risks When Operating Power Electric Systems. In: Cetiner S., Fechtelkötter P., Legatt M. (eds) Advances in Human Factors in Energy: Oil, Gas, Nuclear and Electric Power Industries. Advances in Intelligent Systems and Computing, vol 495. Springer, Cham.

18. Boyer, Stuart A. SCADA: supervisory control and data acquisition. International Society of Automation, 2009.

19. L. K. Keys, R. Rao and K. Balakrishnan, "Concurrent engineering for consumer, industrial products, and government systems," in IEEE Transactions on Components, Hybrids, and Manufacturing Technology, vol. 15, no. 3, pp. 282-287, Jun 1992.

20. Kurabayash S.; Ishiyama H.; Kanai M.; Sensing-by-Overlaying: A Practical Implementation of a Multiplayer Mixed-Reality Gaming System by Integrating a Dense Point Cloud and a Real-Time Camera. IEEE International Symposium on Multimedia, 2016.

21. Bille, R.; Smith, S. P.; Maund, K. & Brewer, G. Extending Building Information Models into Game Engines Proceedings of the 2014 Conference on Interactive Entertainment, ACM, 2014, 22:1-22:8.

22. Virtual Reality for the Construction Industry, The CALLISTO-SARI Project, Benefits for BOUYGUES CONSTRUCTION. Proceedings of the 2015 Virtual Reality International Conference, ACM, 2015, 11:1-11:7.

23. Hagedorn, B. & Döllner, J. High-level Web Service for 3D Building Information Visualization and Analysis Proceedings of the 15th Annual ACM International

Symposium on Advances in Geographic Information Systems, ACM, 2007, 8:1-8:8.

24. Moon, H.-s.; Kim, H.-s.; Moon, S.-y.; Kim, H.-w. & Kang, L.-s. Prototype Model of Wireless Maintenance Operation System for Bridge Facility Using VR and Ubiquitous Technology Proceedings of the 11th ACM SIGGRAPH International Conference on Virtual-Reality Continuum and Its Applications in Industry, ACM, 2012, 350-350.

25. Ock, J.; Issa, R. R. A. & Flood, I. Smart Building Energy Management Systems (BEMS) Simulation Conceptual Framework Proceedings of the 2016 Winter Simulation Conference, IEEE Press, 2016, 3237-3245.

26. M. Kokorus, W. Eylich and R. Zacharias, "Innovative approach to the substation design using Building Information Modeling (BIM) technology," 2016 IEEE/PES Transmission and Distribution Conference and Exposition (T&D), Dallas, TX, 2016, pp. 1-5.

27. ARROYO, E.; ARCOS, J. SRV: a virtual reality application to electrical substations operation training. In: Multimedia Computing and Systems, 1999. IEEE International Conference on. [S.l.:s.n.], 1999. v. 1, p. 835-839 vol.1.

28. BARCELOS, M. A. et al. Uso de realidade aumentada na visualização de componentes de subestações de energia elétrica. In: XI Conferência de Estudos em Engenharia Elétrica. [S.l.:s.n.], 2013. ISSN 2178-8308.

29. BURDEA, G.; COIFFET, P. Virtual Reality Technology. Wiley, 2003. (Virtual Reality Technology, v. 1). ISBN 9780471360896.

30. VEH, A. Okapuu-von et al. Design and operation of a virtual reality operator-training system. Power Systems, IEEE Transactions on , v. 11, n. 3, p. 1585-1591, Aug 1996. ISSN 0885-8950

31. BARATA, P.; FILHO, M.; NUNES, M. Consolidating learning in power systems: Virtual reality applied to the study of the operation of electric power transformers. Education, IEEE Transactions on , PP, n. 99, p. 1-1, 2015. ISSN 0018-9359.



Isabela Peres: Possui graduação em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Uberlândia (2015), Especialista em modelagem 3D no 3Ds Max Studio, projetos no Lumini, AutoCAD, Inventor e Matlab. Possui conhecimentos em criação de ambientes virtuais realísticos e ferramentas de edição em Unity Engine. Interesses especiais na área de Realidade Virtual/Aumentada, Reconstrução de Ambientes, Transmissão de Energia, Building Information Modeling.



Alexandre Cardoso: Possui graduação em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Uberlândia (1987), mestrado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Uberlândia (1991) e doutorado em Engenharia Elétrica (Engenharia de Sistemas Digitais) pela Escola

Politécnica da Universidade de São Paulo (2002). E professor associado da Universidade Federal de Uberlândia, tendo sido Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica (mestrado e doutorado) no período de 2008 a 2013. Tem experiência na área de Engenharia Elétrica e Engenharia da Computação, com ênfase em Engenharia de Software e Computação Gráfica, atuando principalmente nos seguintes temas: Realidade Virtual, Realidade Aumentada, Educação, Ambientes Virtuais, Interfaces Humano Computador e Visualização da Informação. Atuou como Coordenador da Comissão Especial de Realidade Virtual - CERV, da Sociedade Brasileira de Computação - SBC e membro da mesma desde sua criação.



Edgard Lamounier Jr: Possui Licenciatura Plena em Matemática (1986) e mestrado em Engenharia Elétrica (1989) pela Universidade Federal de Uberlândia (UFU). Em 1996, obteve o título de PhD pela Escola de Computação da Universidade de Leeds, Inglaterra.

Atualmente, é professor Titular da Faculdade de Engenharia Elétrica da UFU e Coordenador de seu Programa de Pós-graduação, ao em Engenharia Elétrica. Tem experiência na área de Engenharia e Ciência da Computação, com ênfase em Arquitetura de Sistemas de Computação. Atua, principalmente, nos temas: aplicações de Realidade Virtual e Aumentada em Educação a Distância e em Engenharia. É membro efetivo da Sociedade Brasileira de Computação (SBC) e da Sociedade Brasileira de Engenharia Biomédica (SBEB). Em 2007, concluiu um MBA na área de Administração de Negócios e Comércio Eletrônico pela Abet Open University, USA. Em 2010, foi eleito Presidente da Comissão Especial de Realidade Virtual da Sociedade Brasileira de Computação (CERV/SBC), para a gestão 2010-2012.



Engenheiro Eletrotécnico, Mestre e Doutor em Engenharia Elétrica, pela UFU, Pós-Doutorado em Análise de Sinais e Simulações. Vasta experiência como engenheiro de projetos de instalações elétricas de alta e baixa tensão em diversos projetos de infraestrutura e também de

telecomunicações, como Projetos de Instalações Elétricas Hospitalares, e Subestações de Energia. Desenvolvedor de aplicativos de Computação Gráfica para projetos em AutoCAD com aplicações em eletrotécnica. Atua como diretor da PROENGTELECOM (CGWORKS) no Projeto de P&D da CEMIG/UFU/PROENGTELECOM com o Desenvolvimento de ambientes virtuais, para centro de

operação de sistemas representativos das subestações e usinas da Cemig, associados a tecnologias de projeção 3D. É colaborador e membro do Conselho Científico, no Instituto de Inovações Fotônicas - iTech.



Analista de Sistemas, Pesquisador, Professor Universitário, Doutorando em Computação Gráfica pela Faculdade de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Uberlândia, Mestre em Ciências pela Faculdade de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de

Uberlândia e Bacharel em Ciências da Computação. Atua na área de Engenharia Elétrica e Ciências da Computação com ênfase em Engenharia de Software, automação de Aeronaves Remotamente Pilotadas (ARPs), Computação Gráfica e Inteligência Artificial. Pesquisador dos seguintes temas: Plataforma arduino, Sistemas de Informações Geográficas, Realidade Virtual, Realidade Aumentada, Visualização da Informação, sistemas de aeronaves remotamente pilotadas e computação aplicada à agricultura de precisão. Membro da Associação Brasileira de Agroinformática (SBIAgro), uma sociedade sem fins lucrativos com foco em promover a conscientização, estudo e disseminação das tecnologias da informação e da comunicação no setor de agronegócios. Sócio fundador da OPA-Organização para a Preservação Ambiental com sede em Uberlândia-MG.



Possui graduação em Sistemas de Informação pelo Instituto Luterano de Ensino Superior de Itumbiara (2013). Tem experiência na área de Sistemas de Informação, atuando principalmente nos seguintes temas: Realidade Virtual, Engine de Jogos, Unity3d, Ambientes Virtuais, Modelagem 3D,

Construção de Ambientes Virtuais e Interações em Tempo Real. Atualmente, atua como doutorando e pesquisador na Universidade Federal de Uberlândia (UFU).