



**Grupo de Estudo de Aspectos Empresariais e de Gestão Corporativa e da Inovação e da Educação e de Regulação do Setor Elétrico-GEC**

**Tecnologia de realidade virtual e de gamificação aplicada ao treinamento de atividades críticas no setor elétrico: resultados obtidos em treinamento de manutenção de redes em linha viva**

**KLAUS DE GEUS(1); RAFAEL TERPLAK BEÊ(1); VITOLDO SWINKA-FILHO(2); MATHEUS ROSENDO(2); YURI ARNOLD GRUBER(2); ELTON SATO(2); JOÃO CARLOS C. DOS SANTOS(2); ALEXANDRE P. DE FARIA(3); RICARDO C. R. DOS SANTOS(3)  
COPEL GET (1); LACTEC (2); UFPR (3)**

**RESUMO**

Este trabalho apresenta resultados obtidos no desenvolvimento de um ambiente virtual para treinamento de manutenção de linhas de transmissão com linha viva. Ênfase é dada para alguns aspectos, tais como a complementaridade em relação ao processo tradicional, a motivação para a aprendizagem, a imersão, a sensação de diversão mesmo sendo um jogo sério e a análise de resultados de aprendizado por inteligência artificial. São apresentados também resultados referentes à aceitação do sistema por parte de eletricitistas, especialmente aqueles nascidos na era digital. Por fim, é realizada uma análise formal sobre os benefícios proporcionados pela tecnologia ao processo de treinamento.

**PALAVRAS-CHAVE**

Realidade Virtual, Teorias de Aprendizagem, Manutenção, Atividades Críticas, Linha Viva.

**1.0 - INTRODUÇÃO**

O avanço da tecnologia de realidade virtual e de games tem permitido sua efetiva aplicação em contextos profissionais, exercendo um papel importante em atividades consideradas críticas, tanto em termos de segurança quanto de precisão. Uma das áreas que tem grande potencial de aplicação é a de treinamento. Os principais benefícios estão relacionados a aspectos que normalmente não apresentam bons resultados no processo tradicional de treinamento, o que lhe confere uma característica complementar que objetiva melhorar os resultados da aprendizagem tais como a) segurança, uma vez que não há riscos e, mais precisamente, ameaças relacionadas à saúde e à vida em um ambiente virtual, em oposição à atividade de manutenção tradicional; b) efeitos psicológicos, pois os formandos sabem que não há riscos envolvidos e podem se concentrar apenas no processo de aprendizagem; e c) logística, porque o processo de treinamento requer arranjos especiais, condições climáticas favoráveis, envolvimento de toda uma equipe de profissionais e deslocamento de pessoas e equipamentos.

O processo de aprendizagem virtual é baseado nas oito fases de instrução, um modelo proposto por Robert Gagné [1], e faz uso de conceitos do modelo de aprendizagem significativa, proposto por David Ausubel. Um ambiente de aprendizado virtual, para ser eficaz, deve fornecer um mecanismo de interação adequado. Dentro

de uma cena, vários atores estão presentes, não apenas o treinando, mas também ferramentas de manutenção e componentes elétricos, além de outros “atores” que podem ser representados por “personagens não-jogáveis (NPCs – Non Player Characters)”, uma terminologia usada na gamificação. Esses atores podem ser modelados como agentes usando um esquema ontológico, definindo seu comportamento, ou seja, sua reação a uma ação sobre eles executada pelo usuário ou por qualquer outro agente, seguindo o conceito de sistemas multiagentes.

Outra característica importante que um sistema virtual de aprendizagem deve apresentar é um meio adequado de avaliar a eficácia da aprendizagem. No entanto, a avaliação da aprendizagem não é uma tarefa simples, e normalmente considera o progresso que o aluno fez desde o início do treinamento. No entanto, a avaliação automática é apresentada ao usuário como parte do processo de gamificação, já que os jogadores a partir de suas notas iniciais, sentem-se motivados a continuar até atingir o nível desejado. Esta avaliação é realizada por uma rede neural artificial e pode ser usado em um modelo de avaliação mais avançado, capaz de medir o quanto o jogador realmente aprendeu.

## 2.0 - METODOLOGIA

Este trabalho envolve múltiplas áreas de conhecimento, visando fornecer uma solução eficaz para o processo virtual de aprendizagem. As áreas mais importantes envolvidas são a modelagem geométrica, a realidade virtual, que pode ser categorizada como modelos tecnológicos e de gamificação e aprendizagem, que podem ser categorizados em ciências cognitivas.

A metodologia aplicada no desenvolvimento do ambiente de aprendizagem tem duas ênfases. A primeira consiste na aplicação de tecnologia de realidade virtual e gamificação visando aprimorar o processo de aprendizagem, utilizando especialmente os erros humanos para tal. A segunda consiste em conceber um modelo de avaliação automática, que é uma tarefa muito desafiadora, já que medir a aprendizagem é bastante difícil e não existe um método estabelecido para isso.

O sistema deve fazer uso de todos os esquemas de gamificação que trazem benefícios ao processo de aprendizagem. Devido à natureza das atividades abordadas no ambiente virtual, ou seja, “manutenção de linha viva de subestações de energia elétrica”, que englobam protocolos muito rigorosos, a teoria de aprendizagem adotada foi o modelo de aprendizagem de Gagné et al [1], através das suas oito fases de instruções. Depois de identificar cuidadosamente como cada uma das oito fases de instrução propostos por Gagné et al [1] e que estão relacionados ao processo padrão de treinamento, foi possível analisar quais os formatos de gamificação tinham potencial de aplicação visando potencializar o processo de aprendizagem.

Além dos desafios de modelagem geométrica envolvidos no desenvolvimento do ambiente de aprendizagem, algumas decisões importantes tiveram que ser tomadas para garantir uma experiência de aprendizagem satisfatória. Um deles era que a experiência no ambiente de aprendizagem deveria ser do tipo “single player”, o que implica que apenas um electricista é treinado em um determinado momento. O segundo desafio de modelagem é fazer com que cada agente (também conhecido como ator) nas cenas se comporte adequadamente, de acordo com o tipo de relacionamento que eles têm entre si. Para este propósito, um esquema de ontologia foi adotado.

Para a modelagem de comportamentos e padrões de relacionamento dos agentes (sejam eles componentes elétricos simples ou ferramentas de manutenção), foram definidos sete requisitos, a saber: 1) levar em consideração as dinâmicas das relações sociais presentes na prática do mundo real, ou seja, subordinação e cooperação. ; 2) transmitir ao jogador um senso da necessidade de alcançar uma meta específica, de modo que uma meta maior seja atingível; 3) considerar que um problema específico pode ter múltiplas soluções possíveis; 4) verificar se o jogador é capaz de tomar uma decisão considerada correta em atividades como escolha e uso de ferramentas de manutenção; 5) considerar possíveis consequências de não executar um procedimento específico; 6) considerar a natureza de violações fortuitas de boas práticas; e 7) considerar possíveis condições adversas que possam comprometer ou mesmo impedir que atividades sejam realizadas.

Erros ocorridos durante uma atividade específica são detectadas por meio de uma rede neural artificial, que percebe se as distâncias de segurança foram preservadas ou não. Além disso, a rede calcula e classifica quantitativamente como a atividade foi realizada com base nas distâncias de segurança. É importante dizer que as medidas de distância são apenas um passo para avaliar o quanto o jogador aprendeu efetivamente. Os parâmetros que a rede neural considera são: a posição do jogador dentro da cena; a velocidade da mão do jogador; a distância entre a mão e os cabos elétricos energizados; e a distância da mão do solo. Esses mecanismos auxiliam na determinação de erros realizados pelo treinando e também podem fornecer dinamicamente *feedback* adequado para que seja possível estimar seu desempenho e tentar evitar falhas.

A avaliação da aprendizagem é uma tarefa complexa pois, não existe um método definido que seja capaz de afirmar claramente o quanto alguém aprendeu de uma determinada experiência ou atividade. Uma das razões mais claras é a natureza subjetiva da pontuação, já que todo avaliador usa uma escala concebida internamente e, portanto, diferente de qualquer outro avaliador possível.

Utilizando uma rede neural e as informações fornecidas com base em parâmetros definidos a priori, um modelo de avaliação pode ser desenvolvido focado na experiência virtual realizada dentro do ambiente de aprendizagem, que engloba algumas funcionalidades, a saber: a) Inferência do atual nível de conhecimento do treinando; b) Aquisição, processamento e análise de desempenho; c) Atualização do cenário de treinamento; d) Classificação do treinando; e) Inferência para novos estados.

As métricas de desempenho de um treinando em um ambiente virtual permitem a categorização de acordo com: a) O nível atual de conhecimento do treinando; b) Os objetivos do treinamento; c) Os processos interativos com o sistema; d) O Risco associado a erro humano.

A categorização do erro humano, por sua vez, permite a identificação de situações críticas; e a definição de intervenções preventivas e corretivas. O modelo conceitual para avaliação da aprendizagem foi desenvolvido com base em padrões de erro humano. Assim o modelo do treinamento é baseado na probabilidade de violação ou negligência em relação às regras semânticas implícitas. A medida de aprendizado, assim como a medida da eficiência do ambiente virtual, baseia-se na capacidade do treinando de responder às solicitações feitas pelo sistema; e a evolução dessa habilidade.

### 3.0 - MODELAGEM GRÁFICA, GEOMÉTRICA E FUNCIONAL DO SISTEMA

Durante os primeiros meses de desenvolvimento do projeto foi decidido pela utilização de óculos de realidade virtual (Virtual Reality Headset ou Head-Mounted Display [HMD]). Os HMDs escolhidos para testes para compor a plataforma oficial do projeto foram o HTC Vive e o Oculus Rift. A escolha se deu através da análise de fatores como: custo benefício levando em conta o preço de importação, características de hardware, atividade de desenvolvedores nos respectivos fóruns de discussão, resolução da tela, compatibilidade em relação ao motor de jogos escolhido, entre outros. Ambos possuem dispositivos de entrada (controles) e display com sensores de movimento e orientação que são traduzidos em tempo real para o ambiente virtual. Além disso, nos testes de usabilidade realizados com o usuário final (eletricistas em linha viva) a questão sobre preferência por uma plataforma ou outra resultou em empate. Assim, a equipe de desenvolvimento considerou por bem adaptar o sistema aos dois modelos de HMDs, além de desenvolver um modo de interação não imersivo: com mouse, teclado e monitor. Esta decisão torna o produto final do projeto mais flexível e adaptável a novos dispositivos e tecnologias emergentes do mercado.

O sistema foi desenvolvido usando o motor de jogos Unreal® Engine 4. Uma subestação elétrica real foi digitalizada usando varredura a laser. Estes dados foram utilizados como referência para a modelagem 3D dos equipamentos que a compõe. Detalhes da renderização da cena e dos objetos foram inseridos como o ciclo diurno e noturno, poeira no ar e em isoladores e o piso de pedras brita em 3D, já que aumentam o realismo e, portanto, a sensação de imersão. Também foi criada uma assistente virtual humana a partir de modelagem orgânica incluindo detalhes do uniforme da COPEL para operações em linha viva. Esta assistente, feita com o máximo de detalhes possível, foi utilizada no módulo tutorial para ensinar ao usuário o passo-a-passo de como interagir e executar as tarefas no ambiente virtual, tal como, no módulo instrucional onde ela alerta para tarefas com dependência que devem ser executadas primeiro e dá dicas a pedido do usuário de tarefas que podem ser executadas. A assistente virtual desenvolvida, assim como demais detalhes aqui descritos podem ser observados na Figura 1.



FIGURA 1 – Tela de captura do ambiente virtual mostrando a subestação, iluminação dinâmica, ferramentas na lona e a assistente virtual humana (visão em primeira pessoa do usuário a partir do óculos de realidade virtual)

O desenvolvimento de modelos virtuais de equipamentos realistas e proporcionais é intrinsecamente relacionado à disponibilidade de boas referências visuais para Modelagem 3D. O uso de scanners a laser e soluções de fotogrametria provaram ser uma alternativa interessante para este problema, sendo executado em três etapas: uso de scanner a laser terrestre para a subestação e equipamentos (Figura 2: quadro 1), bem como mapeamento da cena; uso de laser aéreo para obter o relevo da região e mapeamento fotogramétrico para as ferramentas utilizadas no procedimento. Cada uma dessas técnicas é usada para gerar uma nuvem de pontos georreferenciados (Figura 2: quadro 2) que, depois de processados, podem ser usados para modelagem 3D.

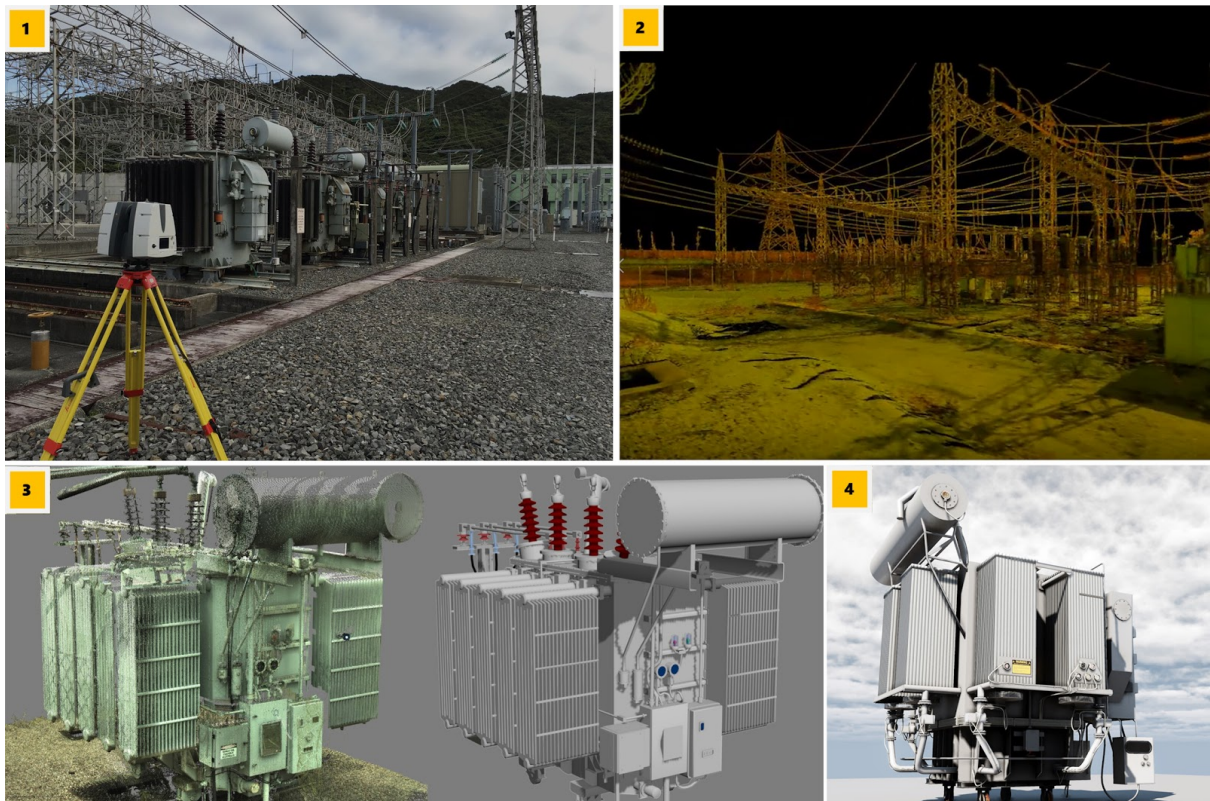


FIGURA 2 – Processo de modelagem 3D. | 1. Coleta de Dados com o perfilamento a laser | 2. Nuvem de pontos da subestação completa | 3. Nuvem isolada e modelo 3D poligonal do equipamento | 4. Modelo do equipamento dentro do ambiente de simulação (motor gráfico).

Durante o processo de modelagem, todos os equipamentos que compõem a subestação são identificados e modelados individualmente, criando uma biblioteca de modelos digitais que serão então posicionados como mostrados pela nuvem de pontos. Assim, um primeiro modelo de referência 3D é criado para ser usado no mapeamento da cena dentro do motor (Figura 2: quadro 3). Uma biblioteca de ferramentas de baixa resolução é então formada e entregue aos desenvolvedores para que eles possam programar o comportamento individual de cada ferramenta na cena enquanto a biblioteca passa por um refinamento para gerar os modelos 3D de alta resolução (Figura 2: quadro 4) que substituem posteriormente os de baixa resolução. Finalmente, o relevo, devido à sua estrutura superficial, passa por uma reconstrução de Poisson, onde a nuvem de pontos é convertida em uma superfície 3D sem ter que passar por um processo de modelagem.

O levantamento de tarefas foi feito inicialmente em uma reunião com eletricitistas na sede da empresa de energia, longe da subestação. Na época, e também com base em manuais e documentos, os pesquisadores do projeto consideraram que o procedimento teria uma ordem rígida e pré-estabelecida de tarefas. Tal abordagem foi abandonada após esta visita de campo para visualizar o procedimento real. Muito da ordem em que as tarefas deveriam ser executadas e até mesmo os profissionais responsáveis por cada tarefa foram definidos em uma reunião pouco antes do procedimento de acordo com o conhecimento tácito dos líderes da equipe. Além disso, algumas decisões foram tomadas com o engajamento de vários membros. Dessa forma, verificou-se que o sistema deve permitir que várias ações sejam tomadas sem uma sequência pré-definida de tarefas, com um maior nível de liberdade em como o procedimento deve ser executado.

Nesse sentido, foi desenvolvido um sistema de interação seguindo a definição de um jogo do gênero *Sandbox*, no qual é permitido ao usuário interagir com o ambiente de forma livre e aberta onde o sistema possa manter um registro de onde e como o usuário utiliza as ferramentas presentes na cena, eventuais erros que podem ser executados, assim como impedir ações que seriam impossíveis na vida real.

Baseado no estudo do conceito de jogos sérios, *Sandbox* e também na não linearidade das tarefas a serem simuladas, foi desenvolvido um framework para montagem e simulação dos procedimentos de manutenção de maneira a oferecer liberdade tanto ao instrutor, na hora da edição, quanto ao aluno em tempo de execução. Assim, este framework permite não apenas tarefas mapeadas no banco de dados a serem executadas em um procedimento específico, mas também tarefas não mapeadas, ou seja, ações consideradas erradas ou inúteis para o procedimento também podem ser definidas na edição e executadas pelo aluno durante a simulação. Desta forma, o instrutor tem mais uma maneira de avaliar o grau de familiaridade do aluno com as ferramentas e equipamentos relacionados a um determinado procedimento. Além disso, o sistema gera logs de ação em tempo de execução que podem ser usados para futuras avaliações.

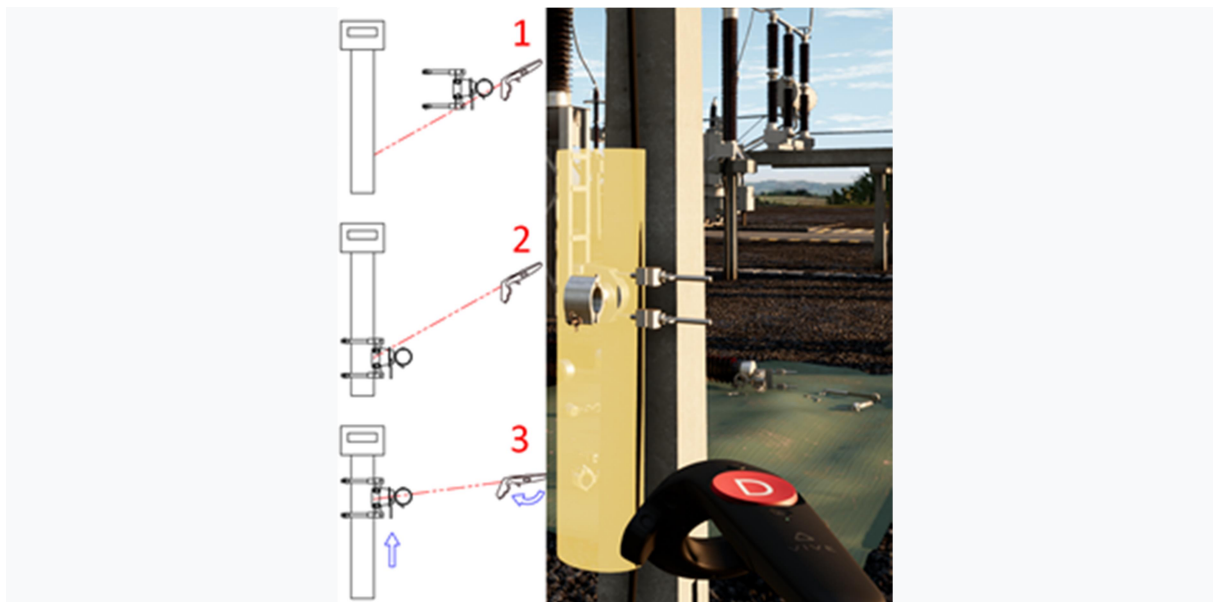


FIGURA 3 - Forma de interação do usuário em ambiente virtual com os objetos ativos, passivos e regiões de encaixe tomando como exemplo a tarefa de acoplar uma sela com colar a um poste.

Um sistema de acoplamento foi então desenvolvido de tal forma que permite ao usuário encaixar as ferramentas em qualquer região compatível contida em outros equipamentos de acordo com o ponto em que o usuário aponta

o controlador do dispositivo. Assim cada tarefa deve possuir um conjunto pré-estipulado de três tipos de componentes: Objeto Ativo, Região de Encaixe e Objeto Passivo. A Figura 3 exemplifica com a tarefa de *acoplar uma sela com colar em um poste* a forma de interação entre usuário e tais componentes.

O mapeamento de tarefas é necessário para que, a partir de uma ação interativa do aluno, o sistema possa reconhecer se tal ação está se referindo a uma tarefa que pertence ao procedimento de manutenção sendo simulado. Além disso, o sistema precisa saber quando uma tarefa é concluída, certificando-se de que não há tarefas duplicadas e controla a relação de dependência entre elas. Esses requisitos são normalmente resolvidos usando um Sistema de Gerenciamento de Banco de Dados Relacional (SGBDR).

Entre as vantagens de usar um SGBDR para o propósito do projeto está o fato de que todo o mapeamento de tarefas de um procedimento pode ser feito independentemente do resto do sistema, mesmo em um PC que não tenha o UE4 instalado ou mesmo por outro instrutor que não seja familiarizado com a configuração dos componentes principais dentro da cena como descrita anteriormente. Portanto, o mapeamento de tarefas não envolve conhecimento sobre UE4 e, basicamente, consiste em alimentar uma tabela do banco de dados do sistema com a descrição das tarefas, definição dos principais componentes envolvidos em cada uma delas, o número de vezes que ela ocorre no procedimento e a definição das dependências entre tarefas quando houver.

#### 4.0 - FUNCIONALIDADE DO SISTEMA

O conceito do sistema pode ser entendido como a interação entre cinco componentes diferentes: modelagem virtual, sistemas multiagentes para a modelagem do comportamento do agente, modelos de aprendizagem abordando o lado cognitivo do processo, gamificação e um modelo de avaliação de aprendizagem inteligente. O diagrama da Fig. 4 representa como o ambiente virtual de aprendizagem foi concebido e desenvolvido.

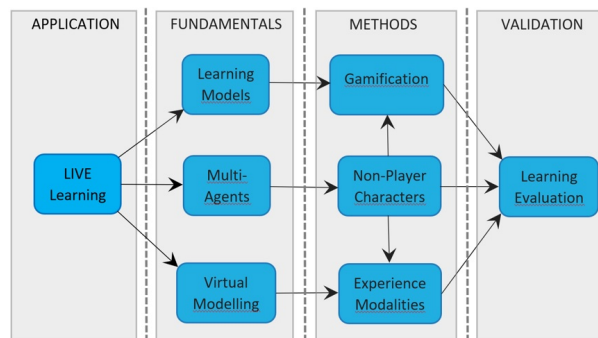


FIGURA 4 – O Sistema Desenvolvido

#### 4.1 Modelagem de Aprendizagem Virtual

O sistema fornece cinco modalidades de treinamento virtual:

a) modalidade de demonstração: o sistema mostra os procedimentos a serem realizados utilizando uma animação tipo filme em que as ferramentas “voam” dentro da cena (subestação de energia) de sua posição original para o destino, causando efeito nos componentes que devem ser movidos ou atuados.

b) modalidade de instrução: o sistema dá um passo adiante, mostrando ao formando como os procedimentos devem ser realizados. Nesta modalidade, o trainee já está dentro da cena virtual, mas não realiza nada.

c) modalidade de interação: O treinando é agora responsável por realizar os procedimentos em sua sequência lógica. Nesta modalidade, os erros começam a ter um papel.

d) modalidade de jogo: o sistema agora fornece funcionalidades que o tornam semelhante a jogos de entretenimento, incluindo pontuação. Essa modalidade tenta explorar a motivação para brincar e, assim, aprender.

e) modalidade de situações inesperadas: A última camada do sistema é construída sobre a modalidade de jogo, inserindo na cena agentes com mau comportamento, o que tentará induzir o aluno a cometer erros. Nesta modalidade, os erros são usados para melhorar a experiência de aprendizagem.

#### 4.2 Modelagem do Jogo

O conceito de “Magic Circle” conforme Huizinga [2], explora as limitações intrínsecas de uma atividade, seja ela espacial, temporal ou mesmo social, e cria um universo paralelo independente no qual algumas regras são adicionadas ou removidas do contexto do jogador, de modo que os erros podem ter pouca ou nenhuma consequência fora do círculo mágico, foi explorado e testado com usuários em potencial, mostrando claramente que o conceito funciona bem. Os usuários transferiram facilmente suas mentes para o mundo paralelo, com suas novas regras, ou seja, os controladores padrão e os dispositivos de interface dos consoles de jogos disponíveis no mercado.

A teoria de Flow, desenvolvida pelo psicólogo húngaro-americano Mihaly Csikszentmihalyi em 1990 [3] e explicada em 1997, afirma que a motivação máxima do jogador ocorre quando o desafio é grande o suficiente, mas não impossível ao ponto de perdendo o interesse. Nesta situação, o jogador pode passar horas jogando sem perceber a passagem do tempo. Portanto, deve haver um objetivo que possa realmente ser alcançado pelo jogador ao realizar a atividade, caso contrário, ele se tornará inútil e o jogador perderá o interesse. Tarefa muito fácil implica em tédio pelo jogador. Analogamente, uma tarefa muito difícil implica frustração por parte do jogador, que provavelmente se sentirá ansioso. Tal teoria também foi explorada e testada com potenciais usuários, mostrando que a sensação de passagem do tempo havia sido alterada. Isso significa que os usuários podem treinar mais sem se cansar, aumentando o nível de aprendizado. Os testes também mostraram que a imersão aumenta significativamente a sensação de uma experiência cativante e, portanto, o processo de aprendizagem.

Como afirmado por Tom et al. [4], o feedback adequado deve ser dado aos usuários, para que possam prever dinamicamente seu desempenho, suas chances de alcançar o objetivo desejado e, especialmente no caso de atividades críticas (neste caso, manutenção de linha viva de subestações elétricas), suas chances de falhar, causando sua morte virtual.

#### 4.3 NPCs como Multiagentes

O sistema de aprendizado virtual aqui descrito foi desenvolvido como “single-player”, ou seja, apenas uma pessoa é treinada por vez. Como, a manutenção de linha viva de subestações é realizada por várias pessoas, o sistema conta com NPCs representando os outros participantes na atividade de manutenção. O uso de NPCs aqui também é baseado no que a literatura científica alega, ou seja, leva a um maior nível de engajamento e aprendizado.

Os NPCs no ambiente de aprendizagem virtual têm dois objetivos distintos. A primeira é simular outros participantes na atividade de manutenção que está sendo treinada, como a experiência é “single-player”, é possível que o aluno treine diferentes papéis na mesma atividade sendo que os papéis restantes são desempenhados pelos NPCs. O segundo objetivo é fornecer um meio para o uso de erros no processo de aprendizagem. Neste cenário, um dos NPCs, cuja função normal é auxiliar o aluno na atividade e realizar as ações de outros eletricitistas envolvidos, pode tentar levar o jogador a cometer um erro. O mecanismo faz parte da “modalidade de situações inesperadas” do ambiente virtual e compõe seu módulo de aprendizado mais avançado.

#### 4.4 Modelo de Avaliação

O modelo de avaliação do ambiente virtual de aprendizagem baseia-se na aquisição, processamento, análise e visualização dos dados coletados durante e após o treinamento. A primeira questão a ser abordada no processo de avaliação é fornecer ao aluno feedback sobre os resultados preliminares de desempenho, já que esse é um princípio fundamental no processo de aprendizado. Este é uma das oito fases do modelo de Gagné. A avaliação de desempenho (resultados de aprendizado) vem a seguir e, em seguida, o aprimoramento da retenção e transferência (internalização do conhecimento). Um modelo cognitivo que relaciona mecanismos internos de erros humanos com sua manifestação por meio de comportamento observável é a base para um método de avaliação da aprendizagem que engloba elementos da análise da confiabilidade humana no design instrucional. Neste sentido, a modelagem e a representação do conhecimento associado ao erro humano capturam a percepção do risco na execução da tarefa e auxiliam na definição das competências que fundamentam os resultados da aprendizagem.

O método de avaliação toma, como parâmetros de análise, as interações dos aprendizes no ambiente virtual e, em busca de padrões de comportamento, mapeia seu desempenho durante a execução de uma tarefa. A identificação e visualização desses padrões por meio de técnicas de mineração de dados, como “machine learning”, devem permitir a sua classificação e a inferência sobre os estados de conhecimento desejáveis.

## 5.0 - RESULTADOS

Nesta fase, os testes realizados para validar o ambiente virtual estão limitados a dois aspectos: usabilidade e percepção de benefícios para o processo de aprendizagem por potenciais usuários. Para evitar que os usuários fiquem aborrecidos com muitas perguntas, cada aspecto foi avaliado com apenas uma pergunta, conforme abaixo:

- Usabilidade: você pode comparar esse ambiente virtual, em termos de eficácia, com outros programas de computador usados para fins de aprendizado?
- Benefícios da aprendizagem: Você acha que esse ambiente virtual será útil para complementar o processo de treinamento, trazendo benefícios em termos de interesse e motivação?

A Tabela 1 mostra os resultados, utilizando a escala Likert, dos testes realizados com 19 eletricitistas, em três diferentes experimentos em ambiente virtual, buscando avaliar “usabilidade” e “benefícios de aprendizagem”, utilizando as questões supracitadas.

Tabela 1 – Testes de Usabilidade e Aprendizagem com 19 Eletricitistas, Mostrando o Número Total de Respostas em Cada Grau da Escala Likert.

Critério	Escala Likert				
	Muito pior / Discordo totalmente	Pior / discordo	Similar / neutro	Melhor / Concordo	Muito melhor/ Concordo totalmente
Usabilidade	0	0	7	6	6
Benefícios de Aprendizagem	1	2	0	8	8

De todos os eletricitistas que foram treinados no ambiente virtual, um era cético sobre os benefícios trazidos por um treinamento virtual. As razões para isso foram: a) a falta de algumas características que indicam perigo, como as distâncias de segurança; b) a falta de feedback de força; e c) dificuldades em se adaptar ao uso do joystick.

É claro que os argumentos contra o sistema em termos de benefícios estão, de fato, relacionados à usabilidade. Apesar disso, o mesmo eletricitista que era cético em relação aos benefícios potenciais respondeu à primeira questão com uma visão positiva. Esse tipo de confusão é bastante normal em experimentos como os feitos aqui. Devido a esta observação, este trabalho trata os dados adquiridos nos experimentos com uma visão geral, tentando ajustar as respostas às suas próprias questões. Os três argumentos apresentados pelos três eletricitistas, que tinham uma visão negativa do sistema, são tratados da seguinte forma:

a) Falta de distâncias de segurança: a versão testada não incluiu distâncias de segurança, mas esse tipo de característica certamente fará parte do sistema final, especialmente devido aos seus benefícios para o processo de aprendizagem e sua facilidade de implementação;

b) Falta de feedback de força: esta é uma desvantagem dos ambientes virtuais que ainda levará algum tempo para serem resolvidos pela tecnologia. O ambiente virtual descrito aqui não fornece feedback de força devido a uma decisão de projeto: o sistema deve abordar aspectos do processo de aprendizagem que não dependem de feedback de força;

c) Dificuldades com a interface: outros experimentos com usuários não profissionais mostram que a carga cognitiva do sistema é muito baixa e as pessoas aprendem a usá-lo muito rapidamente. Os usuários sem experiência em jogos ou aplicativos virtuais tendem a ter um desempenho significativamente melhor no segundo experimento, aprimorando sua capacidade de forma a corresponder às habilidades de usuários experientes.



## 6.0 - CONCLUSÃO

O treinamento baseado na realidade virtual tem um papel muito importante no que diz respeito às atividades críticas. O conhecido simulador de voo é um caso de sucesso que pode servir de exemplo para ilustrar a relevância da realidade virtual em outras áreas. As habilidades abordadas em um ambiente virtual são complementares àquelas abordadas no treinamento tradicional.

Os testes realizados com eletricitistas mostram alguns resultados interessantes, apesar do aparente descompasso entre perguntas e respostas. As conclusões derivadas dos testes, apresentadas abaixo, consideram a classificação correta entre usabilidade e benefícios potenciais.

Em termos de usabilidade, a maioria dos usuários aprovou o uso do ambiente como uma ferramenta importante para complementar o treinamento tradicional. A minoria que era cética em relação ao sistema baseava sua opinião em argumentos que estavam fora do escopo ou que devem ser tratados em versões futuras, com a inclusão de outras funcionalidades, ou em outras sessões virtuais, já que outros testes realizados mostraram que a carga cognitiva do sistema é muito baixa.

Uma vez que todas as visões negativas em relação ao sistema estavam relacionadas à usabilidade (mesmo que as respostas estivessem mal colocadas), a percepção de benefícios para o processo de aprendizagem foi positiva. Discussões informais e mais profundas mostram que os usuários estão muito conscientes dos benefícios potenciais que um treinamento virtual pode trazer ao processo, especialmente quando a segurança é enfatizada.

Trabalhos futuros incluem a elaboração de um método de teste para o módulo de avaliação automática, que já foi concebido. Com o método de teste, será possível realizar testes e validar o modelo de avaliação.

## 7.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) Gagné, R. M.; Briggs, L. J.; Wager, W. W. (1992). Principles of instructional design (4th ed.). Forth Worth, TX: Harcourt Brace Jovanovich College Publishers.
- (2) Huizinga, J. Homo Ludens: A Study of the Play-Element in Culture. Routledge & Kegan Paul, 1949.
- (3) Csikszentmihalyi, M. Finding Flow: The Psychology of Engagement with Everyday Life, B. Books, Ed. HarperCollins, 1997.
- (4) Tom, S.M.; Fox, C.R.; Trepel, C.; Poldrack, R.A. The neural basis of loss aversion in decision-making under risk, Science, vol. 315, no. 5811, pp. 515–518, 2007.

## 8.0 - DADOS BIOGRÁFICOS



**KLAUS DE GEUS**

Possui graduação em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Paraná (1984), mestrado (MSc) em Computer Graphics - University of Manchester - Reino Unido (1989) e doutorado (PhD) em Computer Graphics - University of Sheffield - Reino Unido (1992). É professor colaborador no Programa de Pós-Graduação em Métodos Numéricos em Engenharia - PPGMNE (mestrado e doutorado) da Universidade Federal do Paraná - UFPR. Na Copel - Companhia Paranaense de Energia, atua na área de planejamento eletroenergético desde 2013, é coordenador do comitê de avaliação científica do programa de P&D ANEEL, e também gerencia e coordena projetos de P&D em parceria com universidades e centros de pesquisa, dentre eles os projetos Lynx (otimização do despacho hidrotérmico) e OneReal (realidade virtual e games com aplicação em treinamento de atividades de manutenção em linha viva).

## **RAFAEL TERPLAK BEÊ**

Possui graduação em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Paraná (2004) e mestrado em Sistemas de Energia (2007) pela mesma universidade. Atualmente trabalha como Engenheiro de Manutenção de Linhas de Transmissão na Companhia Paranaense de Energia (Copel). Tem experiência na área de Engenharia Elétrica, com ênfase em Distribuição e Transmissão de Energia Elétrica. É coordenador da Comissão de atividades de linha viva da Copel Geração e Transmissão e integrante do comitê de avaliação científica do programa de P&D ANEEL. Também gerencia e coordena projetos de P&D em parceria com universidades e centros de pesquisa, dentre eles o projeto OneReal (realidade virtual e games com aplicação em treinamento de atividades de manutenção em linha viva).

