

DESENVOLVIMENTOS DE AMBIENTES VIRTUAIS COM GAME ENGINE PARA O PLANEJAMENTO E PROJETO DE SITUAÇÕES PRODUTIVAS

Esdras Paravizo de Brito (UFSCar)
esdras@dep.ufscar.br

Vinicius de Souza Sagae (UFSCar)
viniciussagae@gmail.com

Felipe Ferreira Dias Santoro (UFSCar)
felipeferreiradias10@gmail.com

Daniel Braatz Antunes de Almeida Moura (UFSCar)
braatz@dep.ufscar.br



O planejamento e projeto de situações produtivas é usualmente amparado por ferramentas computacionais de desenho assistido por computador (computer-aided-design, CAD) e técnicas de simulação que podem ou não se utilizar de softwares de simulação de eventos discretos (quando se pretende investigar as características técnicas dos sistema produtivo estudado) e simulação humana (trazendo o foco para a perspectiva da interação entre o trabalhador e seu local de trabalho. O cenário atual de acelerado desenvolvimento das tecnologias de criação de jogos digitais, as Game Engines (GE) - plataformas de criação, edição e produção de ambientes virtuais - surgem como alternativa interessante às ferramentas de CAD tradicionais por apresentarem características de visualização e interação diferenciadas. O presente estudo investiga a partir da criação em GE de um cenário virtual interativo o potencial de aplicação das game engines na Engenharia de Produção. O cenário gerado caracteriza-se como um cenário fabril, com suporte a múltiplos participantes simultâneos em uma mesma sessão, podendo-se ainda alterar o layout das máquinas dispostas de um arranjo funcional para arranjo celular. Os desenvolvimentos verificados indicam que apesar da GE possuir limitações em termos de produção de dados quantitativos sua utilização como suporte ao processo de planejamento e projeto de situações produtivas pode trazer benefícios reais, principalmente quando consideradas as possibilidades de interação e visualização foto-realística do modelo gerado

Palavras-chave: Game Engine; Simulação; Planejamento e Projeto de Instalações Produtivas.

1. Introdução

Campo de atuação intrinsecamente relacionado à Engenharia de Produção, o Planejamento e Projeto de Situações Produtivas – englobando-se aqui desde a perspectiva micro, com enfoque no posto de trabalho, até a perspectiva macro, cuja análise se detém sobre os sistemas produtivos e instalações fabris – tem se tornado paulatinamente mais importante, em consonância com o contexto atual de alta competitividade industrial e mercados com crescente incerteza e fragmentação.

O processo de planejamento e projeto de situações produtivas é marcado pela interatividade e iteratividade nos processos de tomada de decisão; as propostas são desenvolvidas em um contexto de construção técnica e social, envolvendo diversos atores que normalmente possuem formação base, interesses e restrições projetuais heterogêneas (BUCCIARELLI, 1988) em uma conjuntura temporal. Assim, nas fases iniciais do projeto tais atores são afligidos pela falta de detalhes e especificações e, aproximando-se das etapas finais, pela impossibilidade de implantar mudanças necessárias que só foram identificadas ao longo do processo (às vezes no final), mas são inviabilizadas por questões orçamentárias e temporais.

Nesse contexto, diferentes metodologias, técnicas e ferramentas foram desenvolvidas ao longo dos anos para dar suporte às equipes de projeto, visando à melhoria da comunicação e entendimento dos atores envolvidos no projeto, desde desenhos e rascunhos manuais, passando por plantas bidimensionais e miniaturas em escala, até ambientes de realidade virtual que propiciam a imersão e interação com o ambiente de trabalho sendo projetado. A evolução das técnicas de modelagem e visualização 3D em ambientes computacionais tornam-se fundamentais para o suporte e desenvolvimento de projetos e veem sendo incorporadas ao ferramental clássico de projeto de engenharia.

Nesta perspectiva de evolução, as *Game Engines* (GE) são plataformas de desenvolvimentos de jogos digitais que propiciam ambientes de criação e edição de cenários diversos em variadas configurações, em especial ambientes virtuais tridimensionais. A utilização de GE no planejamento e concepção de situações produtivas é promissora, na medida em que os modelos desenvolvidos são interativos, potencializando o engajamento dos participantes do projeto, e realistas, representando fidedignamente o ambiente a ser projetado em termos dimensionais e estéticos, configurando assim um diferencial das outras ferramentas 3D existentes. Neste trabalho são apresentadas as potencialidades do uso de GE para o

planejamento e projeto de situações produtivas com base em um ambiente virtual demonstrativo desenvolvido pelos autores.

2. Referencial teórico

2.1 Planejamento e projeto de situações produtivas

A literatura clássica que versa sobre os temas de planejamento e projeto de situações produtivas possui invariavelmente foco maior nas questões técnicas. Para Tompkins et al (2003) no cenário de competitividade global o planejamento de instalações torna-se estratégico. Olivério (1985) e Tompkins et al (2003) ressaltam a complexidade inerente ao processo de reflexão sobre uma instalação industrial, o que demanda o engajamento de especialistas para discussão das questões que vão desde a definição do local de implantação da indústria (baseando-se em algoritmos de otimização e localização de fornecedores e consumidores), até o *layout* da instalação em si, com a disposição dos setores e equipamentos. No contexto da concepção e planejamento, Olivério (1985) ainda aponta que a busca por diversas ideias e o emprego das melhores ferramentas de visualização são cruciais para viabilizar a comunicação efetiva das propostas de projeto.

Bucciarelli (1988) apresenta a ação projetual como um processo social, reiterando que o projeto em si transcende os artefatos (e.g. plantas, desenhos e simulações) produzidos pelos autores e reconhece as diferentes perspectivas, responsabilidades e interesses que os participantes trazem consigo ao projeto. O autor ainda indica que os “mundos-objeto” – referentes às especializações técnicas, com suas restrições e especificações singulares e particularidades em termos de símbolos, jargões, modelos e ferramentas – são determinantes para a participação dos atores no projeto, sendo desafiador vencer as diferenças para efetivamente construir o processo de projeto.

Atualmente, a utilização de ferramentas computacionais no planejamento e projeto de situações produtivas é ubíqua, trazendo benefícios a diversas etapas; desde análises quantitativas em planilhas eletrônicas, até a geração de alternativas de *layout* com ferramentas de desenho assistido por computador (do inglês, *computer aided design* – CAD) e simulação dos sistemas produtivos propostos por meio de simuladores de eventos discretos. Torres (2007) e Braatz et al (2012) apontam ainda que ferramentas computacionais podem auxiliar na consideração da interação entre a pessoa e seu local de trabalho, identificando-se posturas e movimentos que podem constituir risco à saúde e segurança do trabalhador e ao seu

desempenho. Ferreira e Braatz (2015) apontam ainda que uma articulação das ferramentas computacionais para sua aplicação no planejamento e projeto de situações produtivas é fundamental para o melhor equacionamento das questões relacionadas à produtividade da empresa e às atividades dos trabalhadores.

2.2 Simulação e *game engines*

O papel da simulação vem ganhando destaque em diversas áreas ligadas, mas não restritas, à engenharia de produção. A compreensão do sistema produtivo atual e a previsão de comportamentos e desempenho futuros em diferentes cenários e configurações possíveis é um dos principais benefícios da simulação. Não se deve, no entanto, confundir o conceito de simulação com uma técnica ou ferramenta específica. Para efeitos desse artigo, pauta-se no conceito de “situação de simulação”, que designa um contexto de trocas e num processo de construção de significações que leva em conta perspectivas do conhecimento de conteúdo (comportamental e relativo à ação), de transformação e modo de expressão (BÉGUIN; WEILL-FASSINA, 2002).

Para desenvolvimento de uma simulação, diversos meios podem ser utilizados, desde rascunhos em papel até as ferramentas computacionais de simulação humana e GE, sendo esta última o foco do artigo. O conceito de GE parte do pressuposto da reutilização de elementos base presentes em jogos eletrônicos como física, inteligência artificial, edição de terreno, renderização e programação de interações, visando a facilitação do desenvolvimento de novos ambientes virtuais e, conseqüentemente, novos jogos (ANDERSON, 2008). Entretanto a definição de GE é, segundo o autor, ainda incipiente apresentando dificuldades em estabelecer a diferença entre ela e o jogo produzido em si e, por vezes, confusão entre funcionalidades específicas contidas na GE com a *engine* em sua totalidade. Assim, nesse trabalho considera-se o conceito de GE como o ambiente de criação, edição e produção de ambientes virtuais a partir de funcionalidades e ferramentas reutilizáveis e adaptáveis incorporadas à plataforma.

Atualmente, a aplicação de GEs é crescente e não ficando limitada à um único campo do conhecimento. Estudos recentes apontam potencialidades de uso de GE nas áreas de planejamento e controle de recursos na construção civil (LI et al, 2015), criação de ambientes de realidade virtual (TRENHOLME; SMITH, 2007), desenvolvimento de ambiente de *design review* para projetos de arquitetura (MOLONEY et al, 2003), projeto de engenharia,

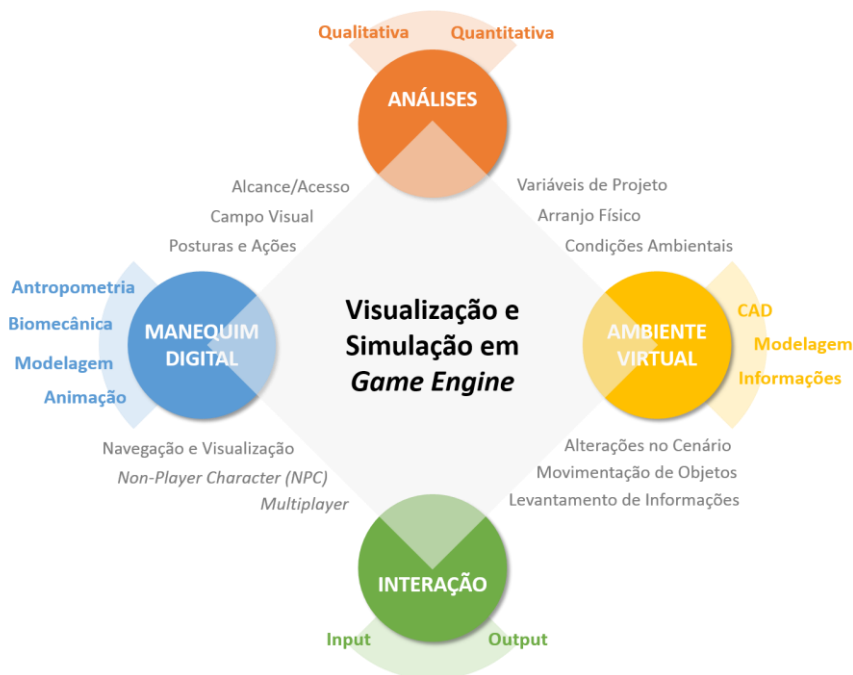
integrando ferramentas de CAD (KOSMADOUDI et al, 2013) e treinamento de pessoal e aprendizagem (AZIZ et al, 2014; KOOPS et al, 2016).

Neste sentido, busca-se no presente artigo enriquecer a discussão em torno do potencial desta tecnologia para o projeto de engenharia de ambientes de produção de forma metódica e fundamentada conceitualmente.

3. Metodologia

A pesquisa aqui relatada foi desenvolvida em caráter exploratório, visando a identificação das potencialidades da utilização de GE para o planejamento e projeto de situações produtivas. Para tanto, uma situação experimental de teste foi proposta e desenvolvida. O cenário virtual criado foi norteado por 4 dimensões principais: “ambiente virtual”, “manequim digital”, “interação” e “análises”. Estes elencam de forma sintética os componentes básicos que devem ser considerados para a elaboração de uma visualização e simulação em GE – a Figura 1 apresenta a tétrede fundamental que norteou o desenvolvimento do cenário experimental apresentado.

Figura 1 – Framework para desenvolvimento de visualização e simulação em GE



A dimensão **ambiente virtual** apresenta as possibilidades mais usuais para criação de um cenário em GE, partindo de modelos CAD, geralmente tridimensionais e podendo ser

construídos de forma a propiciar a disponibilização de informações e imersão do usuário; tais desenvolvimentos podem ocorrer em modelagens internas à GE e contam com apoio de bibliotecas de objetos. A dimensão **manequim digital** elenca as considerações a respeito do personagem que será utilizado pelo usuário para navegar e interagir no cenário desenvolvido; deve-se considerar os aspectos antropométricos e biomecânicos na modelagem e animação do manequim digital no ambiente. A **interação** está relacionada à forma pela qual se dá o engajamento do usuário com o cenário virtual criado, que pode ser feito, entre outras formas, via mouse e teclado, joystick (input) e até tecnologias de realidade virtual como óculos de imersão (output). As **análises** são possíveis a partir das dimensões anteriores e podem ser de cunho qualitativo ou quantitativo, de acordo com os objetivos específicos determinados para o cenário virtual desenvolvido. As 4 dimensões apresentadas são inter-relacionadas e apresentam elementos que devem ser considerados na elaboração de ambiente virtual.

3.1 Construção da simulação em GE

Para a construção do ambiente virtual proposto a GE escolhida foi a **Unreal Engine 4** (Epic Games), versão 4.10.1, devido à ampla gama de funcionalidades que possui (importação de elementos CAD, suporte à criação e animação de personagens, suporte à criação de ambiente *multiplayer*, entre outras). A Unreal Engine é atualmente utilizada por grandes produtoras de jogos eletrônicos, sendo alguns exemplos de títulos os jogos das renomadas séries Final Fantasy, Street Fighter, Tekken, Tom Clancy's e Mortal Kombat. Por não exigir o conhecimento em linguagem de programação, os comandos são programados em *Blueprints*, que são “mapas” contendo diagramas em estilo rede de nós, nos quais cada nó exerce uma ação pré-determinada recorrente no desenvolvimento de jogos.

O desenvolvimento do manequim digital se deu no ambiente de criação de personagens 3D do software Fuse CC – Preview (Adobe Systems) que se destaca pela grande possibilidade de personalização e alta qualidade gráfica. Os modelos criados pelo Fuse são facilmente exportados para outros softwares que atribuem a eles as animações desejadas. O software é bastante intuitivo, apresentando uma interface gráfica dinâmica que exhibe as mudanças feitas sobre o personagem em tempo real.

O personagem 3D criado no Fuse foi posteriormente animado no serviço de animação online Mixamo, que atua como uma biblioteca gratuita de movimentos para modelos humanos

tridimensionais. A plataforma permite que os movimentos de seu catálogo sejam atribuídos aos personagens, mostrando em alguns segundos uma simulação da animação e permitindo o download desses arquivos para o uso em outros programas e na própria GE.

O cenário 3D base foi obtido na plataforma de compartilhamento de modelos tridimensionais 3D Warehouse (Google), e complementado com modelos tridimensionais de máquinas e equipamentos reais modelados a partir de técnicas tradicionais de CAD e fotogrametria.

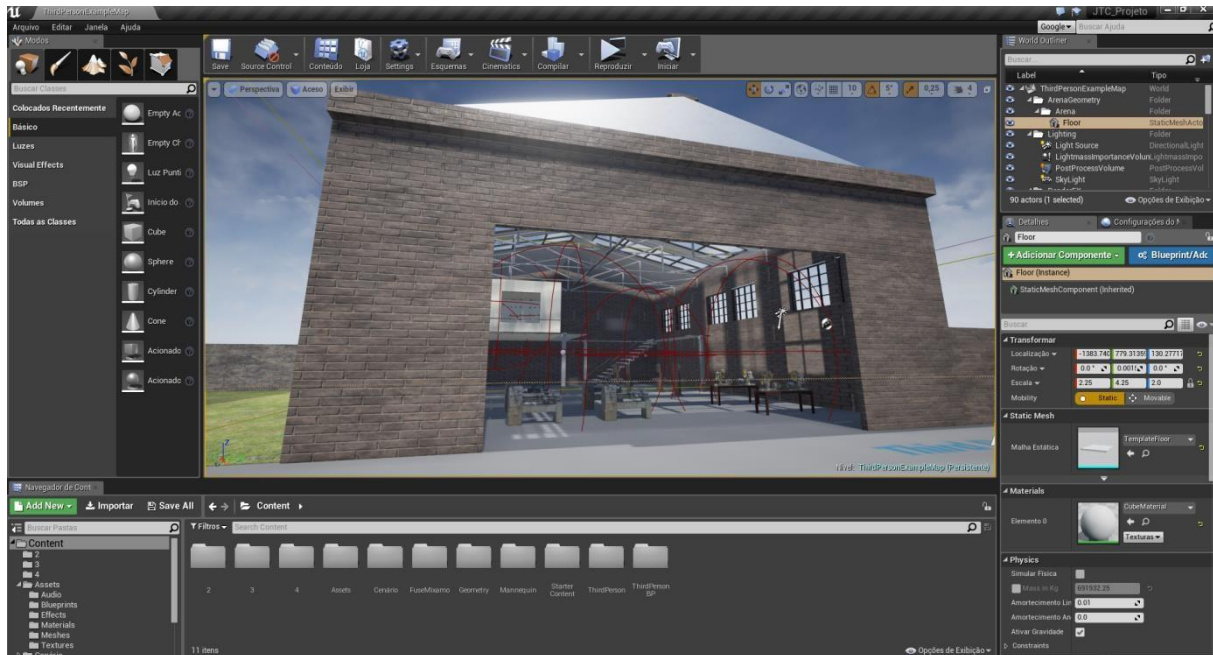
O computador utilizado para o desenvolvimento do cenário virtual possui configuração de hardware relativamente potente, com processador Intel i7 – 4770 CPU, 16GB de memória RAM e placa de vídeo NVIDIA GTX 760 com memória de 4GB. As interações se deram via mouse e teclado (método inicial de input) e monitor (método inicial de output) e com alguns testes utilizando um joystick sem fio (input) e projeção (output). Experimentos com óculos de imersão (output/input) estão sendo planejados para este ambiente, mas ainda não foram realizados. As análises resultantes são apresentadas e discutidas nos tópicos seguintes.

4. Resultados

4.1 Cenário tridimensional base

O cenário 3D base foi obtido, majoritariamente, na plataforma 3D Warehouse. Escolheu-se um modelo 3D de um galpão estilo industrial, para compor o principal ambiente de interação dos usuários. No pavimento térreo do galpão, foram dispostos máquinas e equipamentos (tornos mecânicos, serras de fita e prensas de bancada) e no mezanino foi criado um ambiente de escritório com mesas, cadeiras e computadores também obtidos do 3D Warehouse e incorporados ao cenário. A Figura 2 apresenta o cenário em edição na Unreal Engine.

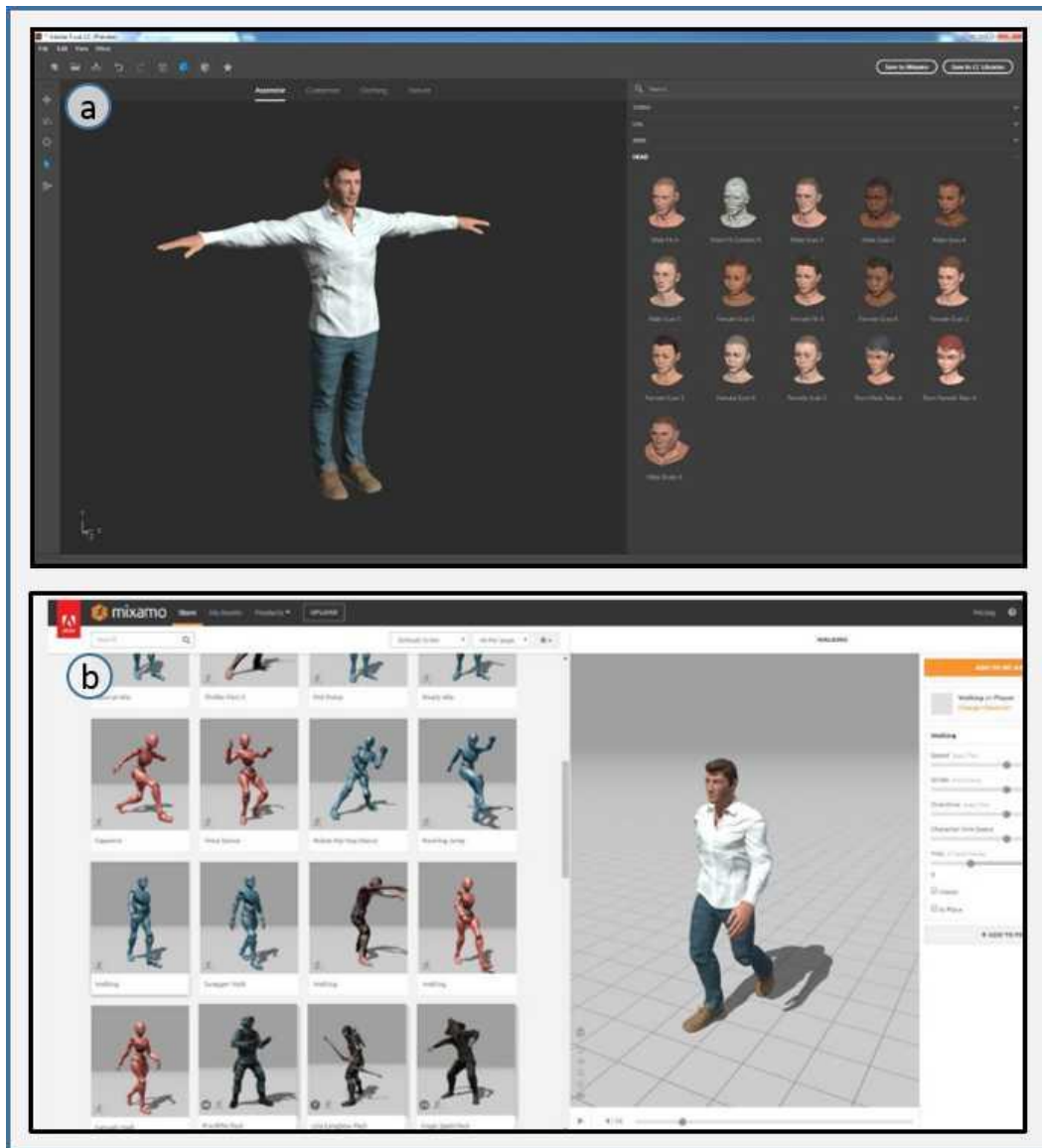
Figura 2 – Cenário 3D em edição na GE utilizada



4.2 Manequim humano digital

Foi criado um manequim humano no software Fuse para que fosse o personagem controlado pelo jogador. Para a modelagem do manequim, prezou-se por uma aparência e proporções antropométricas usuais, ao contrário do que geralmente se emprega na indústria de jogos com personagens idealizados. A animação do personagem realizado no Mixamo buscou arquivos de movimentos de caminhada, corrida e salto já existentes em seu banco de dados. Tais arquivos foram incorporados ao modelo humano e baixados para importação na GE. A Figura 3 apresenta a criação do modelo no software Fuse (a) e sua animação no Mixamo (b).

Figura 3 – Criação e animação do manequim humano no software Fuse (a) e Mixamo (b)



Em seguida, no ambiente de edição de cenários da Unreal Engine, foi necessária a importação do modelo humano e de suas animações. Para que as animações fossem corretamente aplicadas ao manequim foi necessária sua configuração por meio de *Blueprints* de programação que identificam o estado do atual do manequim e atualizam sua postura de acordo com o input fornecido pelo usuário de forma dinâmica e interativa, interpolando movimentos que ocorrem em sequência. A Figura 4 apresenta o espaço de edição das animações na Unreal (a) e programação gerada (b).

Figura 4 – Edição das animações do manequim humano digital na Unreal (a) e Mixamo (b)



4.3 Cenário virtual interativo multiplayer

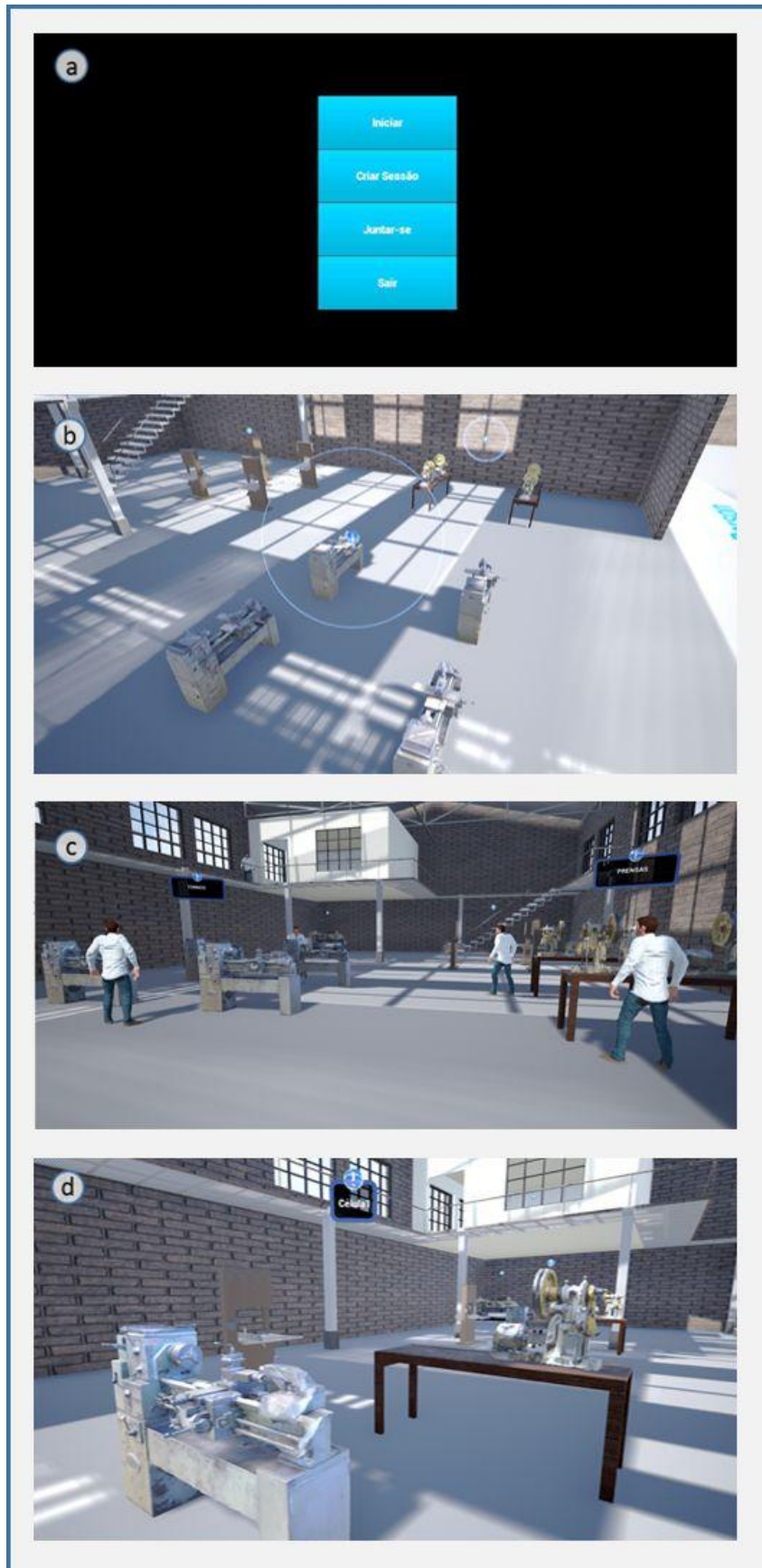
O produto final gerado foi um arquivo executável (que pode ser aberto em qualquer computador) com o cenário virtual 3D criado. Devido ao caráter multiplayer da aplicação, uma interface inicial foi desenvolvida no intuito de possibilitar a criação de uma nova sessão para múltiplos usuários (opção “criar sessão”), juntar-se a uma sessão já em andamento (opção “juntar-se”) ou ainda explorar o cenário de forma independente (opção “iniciar”). Essa interface inicial é mostrada na Figura 5 (a).

Uma vez iniciada a sessão, o usuário é transportado ao cenário 3D criado que consiste em um galpão industrial com mezanino, no qual as máquinas estão dispostas inicialmente em *layout* funcional, como mostra a Figura 5 (b). Os ícones azuis que aparecem na imagem próximos aos equipamentos são balões informativos com a identificação do ambiente de produção: nome dos equipamentos para o arranjo funcional ou número da célula de produção para o arranjo celular. Tais avisos são ativados com a aproximação do personagem.

A sessão multiplayer suporta até 6 jogadores em rede local (computadores conectados à um mesmo servidor) e cada usuário pode interagir entre si ou com o ambiente de forma independente. A Figura 5 (c) mostra a sessão multiplayer iniciada ainda na configuração inicial do *layout* funcional.

Assim, a principal funcionalidade de interação com o modelo implementada, foi a possibilidade de se alternar o arranjo físico das máquinas no galpão. O usuário pode, ao pressionar a tecla “L” de seu teclado, mudar a disposição física das máquinas no galpão, alternando-se entre o *layout* funcional inicial (grupos de tornos, prensas e serras de fita) e um arranjo celular (no qual uma célula é constituída por uma prensa, um torno e uma serra de fita). A Figura 5 (d) mostra a configuração de uma célula após a mudança de *layout* decorrente do input fornecido por um jogador.

Figura 5 – Cenário virtual interativo gerado



4.4 Interação com o cenário

O ambiente virtual gerado é para ser rodado em computadores pessoais tendo sido implementada a navegação via teclado e mouse. O usuário utiliza-se das teclas “A”, “W”, “S” e “D” para movimentar seu personagem para a esquerda, frente, trás e direita, respectivamente. A barra de espaço do teclado faz o personagem pular e a tecla “L” implica na troca do *layout*.

A perspectiva do usuário pode ser tanto em 3ª pessoa, como em primeira pessoa, bastando um clique no botão de rolagem do mouse, para alternar entre as opções de câmera. Além disso, a movimentação do mouse corresponde à movimentação da câmera no ambiente, podendo-se mover a “cabeça” do personagem para melhor visualizar as máquinas e equipamentos.

Testes com joystick foram realizados, sendo observados ganhos para a movimentação no ambiente e facilidade para mudar o campo de visão do manequim. No entanto, tal uso é limitado pela quantidade menor de botões e associação indireta (como ocorre com a tecla “L” para alteração de *layout*). Os testes com óculos de imersão estão em fase inicial de planejamento, mas são importantes por serem dispositivos de input (posição e movimentação da cabeça) e output (projeção visual para o usuário).

5. Discussão

Considerando-se as restrições e desafios particulares ao processo de planejamento e projeto de situações produtivas, em especial à necessidade de viabilização da comunicação entre participantes do projeto habitantes de diferentes “mundos-objeto” e da complexidade inerente a esse processo, torna-se necessária a busca por metodologias e técnicas de projeto que consigam suprir essa demanda e ainda serem relevantes para o projeto em termos técnicos. Nesse sentido, discute-se, a partir da perspectiva quádrupla proposta para a construção de ambientes virtuais visando o planejamento e projeto de sistemas produtivos, as vantagens e possibilidades das GE assim como suas limitações.

Em termos do ambiente tridimensional gerado pode-se verificar a razoável facilidade de criação e importação dos modelos: havendo o modelo CAD 3D base só se faz necessário importá-lo na GE e configurar os materiais e texturas para manter sua representatividade estética. Além disso, a flexibilidade da GE em termos de tipos de modelos tridimensionais suportados permite a integração de objetos 3D obtidos através de diferentes técnicas, desde a

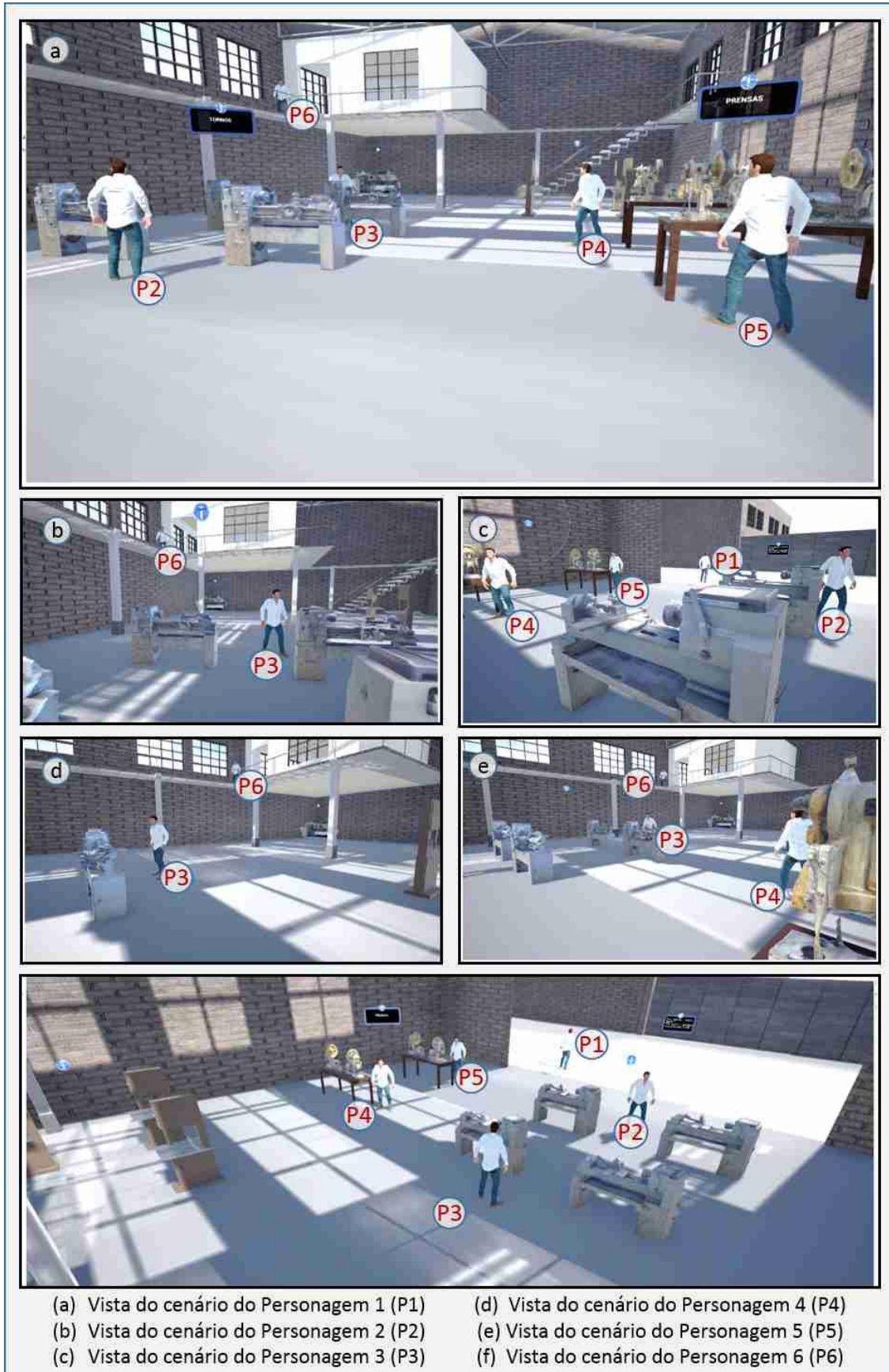
modelagem tradicional em softwares CAD até a utilização de técnicas de fotogrametria e/ou escaneamento tridimensional. O realismo da visualização verificada no cenário virtual gerado permite que os diversos atores do projeto que não possuem conhecimentos técnicos de desenho industrial, por exemplo, e que poderiam ficar alienados em um processo de discussão de alternativas de *layout* que se utilizasse de plantas bidimensionais, possam participar da discussão uma vez que a representação 3D foto-realística permite uma melhor compreensão dos modelos representados.

As funcionalidades clássicas de ambientes CAD (como por exemplo a medição de distâncias entre objetos no modelo) não estão presentes por padrão nas GE, sendo necessário o desenvolvimento de scripts de programação específicos que possibilitem a implementação dessas funcionalidades.

No que se refere aos modelos humanos, a GE apresenta enorme potencial de integrar cada vez mais os aspectos tradicionalmente relegados aos softwares de simulação humana. A possibilidade de modelagem de personagens do zero é extremamente interessante e resolve o problema de não se possuir um manequim humano representativo na GE. As animações que podem ser tanto criadas manualmente em softwares de edição de personagens, baixadas de bancos de dados de animações ou ainda obtidas através de técnicas de captura de movimento, permitindo uma representação computacional mais fidedigna das posturas e movimentações realizadas pelas pessoas, contribuem para a criação de ambientes mais completos, trazendo o foco também para o fator humano e atividades desenvolvidas no ambiente no qual está situado.

As interações programáveis na GE são praticamente infinitas. No âmbito deste artigo foram apresentadas interações do tipo multiplayer e com o ambiente. Em termos de interações multiplayer, suas aplicações são extremamente interessantes para o planejamento e projeto de situações produtivas, na medida em que os diversos participantes conseguem se movimentar pelo ambiente e explorar as opções e particularidades de cada proposta e cenário. Tal exploração é independente, isto é, se dá ao próprio passo de cada usuário de forma livre e ainda se comunicando verbalmente com os outros participantes (caso estes estejam no mesmo local físico). A Figura 6 apresenta o ponto de vista de cada um dos 6 jogadores na sessão multiplayer.

Figura 6 - Visão de cada jogador na sessão multiplayer



As interações com o ambiente se dão, em um primeiro nível, através da navegação e exploração visual do cenário 3D construído. Em um segundo nível, as interações entre o usuário e o ambiente se constroem de forma automática a partir da programação de eventos na GE; pode-se, por exemplo, utilizar “sensores de presença” que disparam determinadas ações no cenário como a aparição de informações (como implementado no cenário gerado), mudança de iluminação, abertura e fechamento de portas, etc. Um terceiro nível de interação é que requer inputs do usuário de forma pró-ativa, como a alteração do *layout* programada no cenário desenvolvido. Pode-se ainda utilizar os recursos da GE para programar “personagens não-jogáveis” (*non-player characters*) que podem interagir com os usuários demonstrando posturas, procedimentos passando informações acerca da situação em projeto.

As análises passíveis de serem realizadas no ambiente gerado são de cunho primordialmente qualitativo: é possível identificar problemas de acesso, alcance e campo de visão a partir da interação do manequim digital e o ambiente 3D existente. Além disso as posturas do manequim quando modeladas para representar as ações tomadas durante a atividade real de um operador, são representativas e pautam a análise baseada em preceitos ergonômicos do posto de trabalho sendo projetado. A respeito dos aspectos técnico-produtivos, as discussões de arranjo físico e posicionamento dos materiais, equipamentos e produtos acabados é passível de ser subsidiada em ambiente criado em GE, bem como análises de movimentação de materiais (com empilhadeiras por exemplo). No entanto, importante destacar que a obtenção de dados quantitativos como usualmente obtidos em modelos de simulação de eventos discretos (utilização de maquinário, gargalos, gráficos de ocupação e ociosidade, etc.) ou análise de posturas via protocolos (como o NIOSH e RULA, em softwares de modelagem e simulação humana) não é suportada pela GE.

6. Conclusão

Os avanços possíveis com a aplicação de novas tecnologias não podem ser ignorados, em especial em ambientes de alta competitividade e complexidade como os sistemas de produção. No entanto, como toda inovação, a inserção de tecnologias dos jogos eletrônicos nos processos de projeto de situações produtivas deve ocorrer de forma planejada, consciente e, em especial, fundamentada em conceitos teórico-metodológicos que legitimem tais propostas. O presente artigo não pretende encerrar tal discussão, pelo contrário, espera-se que outras iniciativas possam contribuir para a construção coletiva de soluções que atendam aos critérios

esperados pelas diferentes áreas da engenharia de produção, como a gestão de operações, planejamento de instalações, segurança, qualidade e ergonomia.

REFERÊNCIAS

ANDERSON, Eike Falk et al. The case for research in game engine architecture. In: **Proceedings of the 2008 Conference on Future Play: Research, Play, Share**. ACM, 2008. p. 228-231.

AZIZ, EL-Sayed S. et al. Virtual Mechanical Assembly Training Based on a 3D Game Engine. **Computer-Aided Design and Applications**, v. 12, n. 2, p. 119-134, 2015.

BÉGUIN, Pascal.; WEILL-FASSINA, Annie. Das Simulações das Situações de Trabalho à Situação de Simulação. In: DUARTE, Francisco. (Ed.). **Ergonomia e Projeto: na indústria de processo contínuo**. Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ; Editora Lucerna, 2002. 34–63 p.

BRAATZ, Daniel et al. Simulação humana digital na concepção de postos de trabalho: estudo comparativo de casos. **Gestão da Produção**, v.19, n.1, p.79-92, São Carlos, 2012.

BUCCIARELLI, Louis L. An ethnographic perspective on engineering design. **Design Studies**, v. 9, n. 3, p. 159-168, 1988.

FERREIRA, Rosane Costa Alves.; BRAATZ, Daniel. Articulação conceitual integrada para aplicação de ferramentas computacionais no projeto de situações produtivas. In: XXXV Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 2015, Fortaleza. **Anais Eletrônicos da Associação Brasileira de Engenharia de Produção - ENEGEP 2015**, 2015.

KOOPS, Martijn C. et al. Learning Differences Between 3D vs. 2D Entertainment and Educational Games. **Simulation & Gaming**, v. 1, p. 20, 2016.

KOSMADOUDI, Zoe et al. Engineering design using game-enhanced CAD: The potential to augment the user experience with game elements. **Computer-Aided Design**, v. 45, n. 3, p. 777-795, 2013.

LI, Heng et al. A 4D automatic simulation tool for construction resource planning: a case study. **Engineering, Construction and Architectural Management**, v. 22, n. 5, p. 536-550, 2015.

MOLONEY, Jules et al. Design critique inside a multi-player game engine. **CIB REPORT**, v. 284, p. 255, 2003.

OLIVÉRIO, José. Luiz. **Projeto de fábrica: produtos, processos e instalações industriais**. São Paulo: IBLC, 1985.

TOMPKINS, James A. et al. **Planejamento de instalações**. 4ª ed. LTC, 2013.

TORRES, Isaías. **Um Formalismo Relacional para o Desenvolvimento de Arranjo Físico Industrial**. 2007. 205p. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Departamento de Engenharia de Produção, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2007.

TRENHOLME, David; SMITH, Shamus P. Computer game engines for developing first-person virtual environments. **Virtual reality**, v. 12, n. 3, p. 181-187, 2008.