

DESENVOLVIMENTO DE PLATAFORMA DE SIMULAÇÃO PARA OTS DE CIRCUITO DE MOAGEM¹

Tadeu José Silva Rodrigues²

Hugo Montalvão Gontijo²

Marcelo Montalvão Gontijo³

Jarbas Ivon Ugarte⁴

Marco Aurélio Soares Martins⁵

Resumo

O conceito de simulação para treinamento de operador se manifesta nos OTS (*Operator Training System*). Nesses sistemas, o treinando emprega o mesmo supervisório utilizado na planta real para operar uma simulação do processo, enquanto é avaliado pelo tutor, capaz de manipular parâmetros de simulação. Nesse contexto, é desenvolvida uma plataforma, de arquitetura distribuída, voltada à simulação de um circuito de moagem de minério. Para tanto, o sistema apresenta dois computadores para executar seus módulos, de forma que um simulador de CLP e um supervisório de uma planta real de moagem se comunicam com modelos construídos para simular a operação dos principais elementos da planta. Tais modelos, executados no segundo computador, são integrados a um simulador comercial estático configurado para a mesma planta representada no supervisório. O usuário envia certos comandos do supervisório ao simulador de CLP, transmitidos via OPC aos modelos. Estes respondem com os devidos retornos e disparam o simulador estático, de forma que todas as variações correspondentes às operações realizadas pelo usuário são retornadas no próprio supervisório. Os comandos disparados incluem envio de set points, abertura/fechamento de válvulas, habilitação de bombas etc., enquanto são exemplos dos retornos observados no supervisório estados operacionais e dados de processo.

Palavras-chave: OTS; Sistema de Treinamento de Operador; Simulação; Moagem.

DEVELOPMENT OF A SIMULATION PLATFORM FOR AN OTS OF ORE GRINDING

Abstract

The concept of simulation for operator training manifests itself in the Operator Training Systems (OTS). With such systems, trainee uses the same supervisory employed in the real plant to operate a simulation of the process, while being evaluated by a tutor, capable of manipulating simulation parameters. In this context, a distributed-architecture platform is developed, focused on the simulation of a real ore grinding plant. Therefore, the system rely on two computers to run its modules, in such way that a PLC simulator and a supervisory of a real grinding plant exchange data with models built for simulating operation of the main elements of the plant. Such models, running on the second computer, are integrated to a commercial static simulator configured for the same plant represented in the supervisory. User can send some commands from supervisory to PLC simulator, which, via OPC, transfers them to the models. Those respond with appropriate operational returns and trigger the static simulator, in such way that all variations corresponding to the commands are displayed in the very supervisory that user interacts with. Such commands include sending set points, opening/closing valves, enabling pumps etc., while equipment operational states and process data represent examples of observed responses.

Key words: OTS; Operator Training System; Simulation; Grinding.

¹ *Contribuição técnica ao 17º Seminário de Automação e TI Industrial, 24 a 27 de setembro de 2013, Vitória, ES, Brasil.*

² *Engenheiro de Controle e Automação, Consultor Técnico, CEMI, Belo Horizonte, MG, Brasil.*

³ *Engenheiro de Controle e Automação, Gerente de Projetos, CEMI, Belo Horizonte, MG, Brasil.*

⁴ *Analista de Sistemas, Analista de Sistemas Master, CEMI, Belo Horizonte, MG, Brasil.*

⁵ *Engenheiro de Minas, Diretor de Operações, CEMI, Belo Horizonte, MG, Brasil.*

1 INTRODUÇÃO

O conceito de Sistema de Treinamento de Operador (OTS, sigla em inglês de *Operator Training System*) está concentrado no uso de simulação de um processo industrial para treinar tal profissional. Isso requer: modelos computacionais para simular certas características dos elementos presentes no processo; comunicação entre o simulador e o sistema supervisório empregado na operação da planta real; funcionalidades de manipulação dos parâmetros de simulação por parte de um instrutor e, por fim, plano pedagógico para definir as habilidades a serem desenvolvidas nos operadores. O presente artigo aborda a aplicação do conceito de simulação para treinamento e para teste de estratégias de controle lógico e sequencial, utilizando uma arquitetura distribuída para implementar parte das funcionalidades básicas de um OTS.

Para tanto, foram construídos modelos computacionais que, utilizados em conjunto com modelos estáticos comerciais, simulam parte das características de alguns instrumentos e equipamentos presentes em um circuito de moagem de bolas. O sistema assim estruturado consiste em uma plataforma que, utilizando softwares executados em dois PCs distintos, estabelece a comunicação entre um sistema supervisório pré-existente de um circuito de moagem real, um simulador de CLP e, por fim, os módulos dos citados modelos.

A Figura 1 representa o esquemático detalhado da plataforma desenvolvida. Nela, está presente o fluxo de dados entre os módulos do sistema e é possível observar que um dos computadores, intitulado Estação de Operação, executa o simulador de CLP e o supervisório da planta real, enquanto o outro, nomeado Estação de Simulação, processa os modelos que representam a planta.

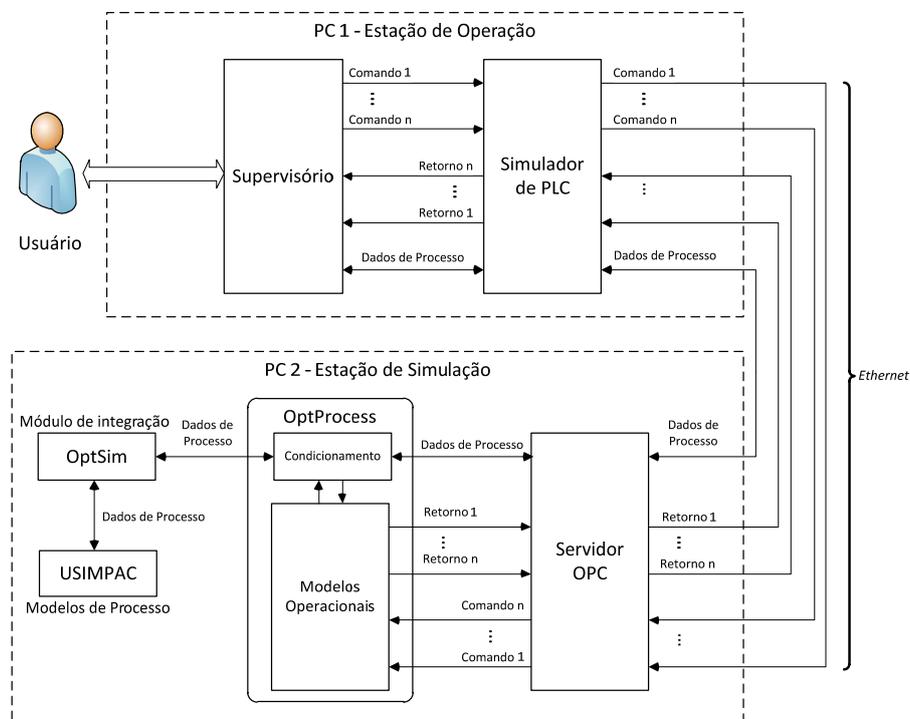


Figura 1 – Diagrama funcional da plataforma.

Em linhas gerais, a Estação de Operação executa o simulador de CLP e o supervisório da planta real, previamente concebido. Nesse computador, o usuário consegue observar os estados do processo, i.e., condições operacionais dos

equipamentos do circuito de moagem, bem como algumas variáveis de processo. É possível ainda enviar comandos ao simulador de CLP, no qual é executado o mesmo programa de controle regulatório, lógico e sequencial gravado no dispositivo físico, junto à planta real. Os comandos do usuário que chegam ao simulador de CLP são lidos pelo servidor OPC, presente na Estação de Simulação. Esse PC é responsável essencialmente pela execução de dois tipos de modelos, convencionados, conforme Figura 1, como operacionais ou de processo. Enquanto aqueles são alimentados com os comandos do usuário e respondem a eles com o envio de retornos de seus respectivos estados de funcionamento (aberto/fechado, automático/manual etc.), os modelos de processo simulam equipamentos como moinho de bolas e bateria de ciclones, manipulando assim representações de variáveis de processo (pressões, densidades, granulometria etc.).

O objetivo deste trabalho é, portanto, construir os modelos operacionais, integrá-los aos modelos de processo e colocar o simulador assim concebido para responder a um conjunto definido de comandos do usuário, vindos diretamente da utilização do supervisório em conjunto com o programa de CLP da planta real.

O processo de desenvolvimento passou por etapas de identificação da interação entre os subsistemas nos quais a plataforma se baseia e seus respectivos atores, pautada na abordagem de casos de uso e nas funcionalidades oferecidas. Assim, a seção 1.1 centra em uma breve revisão sobre OTS, enquanto a 2 detalha os módulos da plataforma e a 3 destina-se a resultados e discussão.

1.1 Sistema de Treinamento de Operador (OTS)

O objetivo central de um OTS é utilizar uma simulação de um processo para treinar o operador, aprimorando o conhecimento do profissional sobre a planta e aperfeiçoando suas habilidades de operação. Na área de Processos Assistidos por Computador, a utilização de simulação para o treinamento vem ganhando expressão em diferentes tipos de indústria, sendo que a viabilidade técnica desse tipo de atividade tem evoluído principalmente devido aos avanços na velocidade dos computadores, nos métodos de programação e nos meios de interface com o usuário.⁽¹⁾ Somado a isso, os elevados custos de treinamento no campo e os riscos à integridade física de profissionais e de equipamentos evidenciam a utilidade desses sistemas de treinamento.⁽²⁾

Enquanto a operação da planta real apresenta envio de comandos do supervisório ao CLP, que aciona equipamentos e lê instrumentos fisicamente instalados na planta real, o OTS conta com comandos do supervisório a um emulador do sistema de controle lógico e sequencial, que troca dados com a simulação da planta, cujos modelos representam as mudanças no processo, que podem ser tanto de natureza operacional (e.g. ligado/desligado, aberto/fechado, automático/manual etc.) como de processo (e.g. simulações de medidas de grandezas físicas como vazão, nível, temperatura etc.). Além disso, o OTS conta ainda com a presença de um instrutor, responsável por manipular os parâmetros de simulação, bem como acompanhar e avaliar o desempenho do operador. Para tanto, as funcionalidades que o OTS precisa oferecer incluem disparar cenários de treinamento, salvar/carregar os estados dos elementos simulados etc.

A estruturação das funcionalidades do sistema deve incluir, no mínimo, o simulador do processo, o emulador do sistema de controle e a interface gráfica de operação, visto que, segundo Park, Lee e Moon,⁽³⁾ o treinamento requer que o sistema apresente simulação da reação da planta aos comandos de operação,

flexibilidade de interface entre os módulos do sistema, funcionalidade de armazenar e carregar cenários de emergência e de registrar histórico dos resultados do treinamento de cada operador.

Em se tratando de arquiteturas típicas, três são apontadas por Stawarz e Sowerby:⁽⁴⁾ Sistema de Controle Distribuído (DSC), Rede de Computador e Computador Independente. No primeiro caso, um computador externo ao painel de controle que interage com o operador é encarregado de executar os modelos do processo e os controladores. Na arquitetura em rede, um servidor concede acesso a um banco de dados, que abriga os módulos de simulação e links para tutoriais e/ou para a interface do DCS do processo real. Finalmente, o computador independente é incumbido de executar por si só tanto os modelos e quanto os módulos das diversas funcionalidades do treinamento.

Os benefícios da utilização de um OTS incluem desenvolvimento do conhecimento do processo; ininterruptão do ritmo de produção durante os treinamentos; aumento da familiaridade do operador tanto com o sistema supervisor quanto com procedimentos operacionais típicos e treinamento de condições operacionais críticas de forma segura para profissionais e equipamentos. A princípio, qualquer segmento industrial pode contar com esses benefícios. No entanto, ele tem sido aplicado em indústrias de alto investimento de capital, grande complexidade e expressivo perigo em caso de falha.⁽⁵⁾ Esse tipo de atividade se faz presente na indústria química, na de energia nuclear, em sistemas de potência e na geração, transmissão e distribuição de energia elétrica, todas contando com a presença de simulações voltadas para treinamento.⁽⁶⁻¹⁰⁾ Em mineração, em especial no beneficiamento, elevados custos de certas operações unitárias podem representar motivação para se ter os benefícios de um treinamento via OTS. A título de exemplo, chama atenção o consumo energético da moagem, que, segundo Chaves e Peres,⁽¹¹⁾ representa 40% dos custos totais do processamento do minério de cobre, da extração na mina ao embarque do produto final. Diante da representatividade dessa operação unitária, mas sem se ater ao minério explorado, é possível reconhecer a potencialidade de haver benefícios em contar com um OTS para treinamento também na mineração. Independente da área em que o sistema é empregado, a atratividade do treinamento guiado por simulação é normalmente ditado por fatores como maior rentabilidade, aprimoramento da operação da planta e aumento da vida útil dos equipamentos.⁽¹²⁾

2 A PLATAFORMA DESENVOLVIDA

Como descrito na seção 1, os dois computadores da plataforma são colocados em rede e a comunicação entre eles se dá via OPC. O simulador de CLP escreve dados no servidor OPC KEPServerEX, da Kepware Technologies, que os disponibiliza ao cliente OPC OptProcess®, proprietário da CEMI. Este consiste em um sistema especialista de estrutura modular, que, baseado em lógica fuzzy, é voltado à geração otimizada de set points para as diversas malhas de controle regulatório presentes no processo industrial a que o sistema se destina, visando a padronizar a operação, maximizar produtividade e levar o processo a condições operacionais mais eficientes. Seus módulos incluem, entre diversas outras funcionalidades, a execução de modelos para ele construídos.

O papel dos modelos operacionais e de processo é a simulação do circuito de moagem, que conta tanto com representações estáticas (características do minério, como, e.g., granulometria) quanto dinâmicas (componentes hidráulicos, como, e.g.,

enchimento de caixa). A parte dinâmica é baseada em equações físicas e é proveniente dos modelos operacionais, projetados para execução em ambiente OptProcess©. A estática, por sua vez, é calculada pelos modelos de processo, configurados para simular a mesma planta representada no supervisório utilizado. Para integrar esses dois tipos de modelo, o software OptSim, também da CEMI, é utilizado para disparar o simulador estático Usimpac™, da Caspeo, responsável pela simulação estática de processo.

Os elementos simulados do circuito de moagem, todos exibidos e acessíveis no sistema supervisório, são: moinho de bolas; caixa na descarga do moinho; válvula de controle, para adição de água à caixa; válvula solenoide de dreno, para retirar material da caixa; bateria de ciclones e bomba de polpa, que leva material da caixa aos ciclones.

Em termos de hardware, a escolha de uma arquitetura distribuída objetiva modularização ao sistema. Quanto a software, todas as aplicações são executadas em ambiente Windows, sendo que a Estação de Simulação executa os softwares citados anteriormente e a Estação de Operação utiliza o Unity Pro e o Vijeo Citect, ambos da Schneider Electric, para executar, respectivamente, o simulador de CLP e o SCADA. Com uma estrutura assim organizada, a plataforma simula o circuito de moagem e oferece ao usuário um conjunto bem definido de funcionalidades, descrito no diagrama de casos de uso da Figura 2.

Ao acessar uma funcionalidade, é transparente ao usuário o fluxo de dados que decorre da inserção de algum comando no supervisório. Analogamente, a interação entre os subsistemas em que consiste a plataforma e seus respectivos atores também foi desenvolvida em termos de casos de uso, sempre com a premissa de ser transparente ao ator o processamento por trás do acesso às funcionalidades.

A interação entre o usuário e a plataforma se dá majoritariamente pelo sistema supervisório. A partir das indicações nele presentes, foram levantadas as funcionalidades do diagrama de casos de uso da Figura 2 e projetados os modelos que reagem aos comandos do usuário e provocam as animações e indicações das condições operacionais dos equipamentos e dos valores das grandezas físicas simuladas.

Do ponto de vista da interação com o usuário, o supervisório apresenta, portanto, tudo o que é possível fazer com o simulador, i.e., quais comandos podem ser dados e quais variáveis de processo podem ser observadas. Já em termos de desenvolvimento, o supervisório serve como referência para quais itens devem ser simulados, visto que ele concentra toda a interação direta com o usuário e indica o que deve ser respondido pelos modelos.

Na plataforma desenvolvida, todas as indicações presentes no supervisório, como estado de válvulas, vazão na linha de recalque da bomba, nível de polpa na caixa etc., vêm do simulador de CLP, ao mesmo tempo em que é nele que são escritos todos os comandos que o usuário pode dar. Os endereços, no simulador de CLP, das variáveis associadas às indicações no supervisório são os pontos de interface entre os módulos do PC 1 e PC 2. Por isso, fizeram parte dos trabalhos nos módulos da Estação de Operação a identificação, no supervisório, de quais dados devem ser lidos e escritos pelos modelos, bem como o endereçamento, no servidor OPC, dos registradores utilizados do controlador programável, para viabilizar a interação entre o simulador de CLP e o subsistema limitado aos módulos da Estação de Simulação.

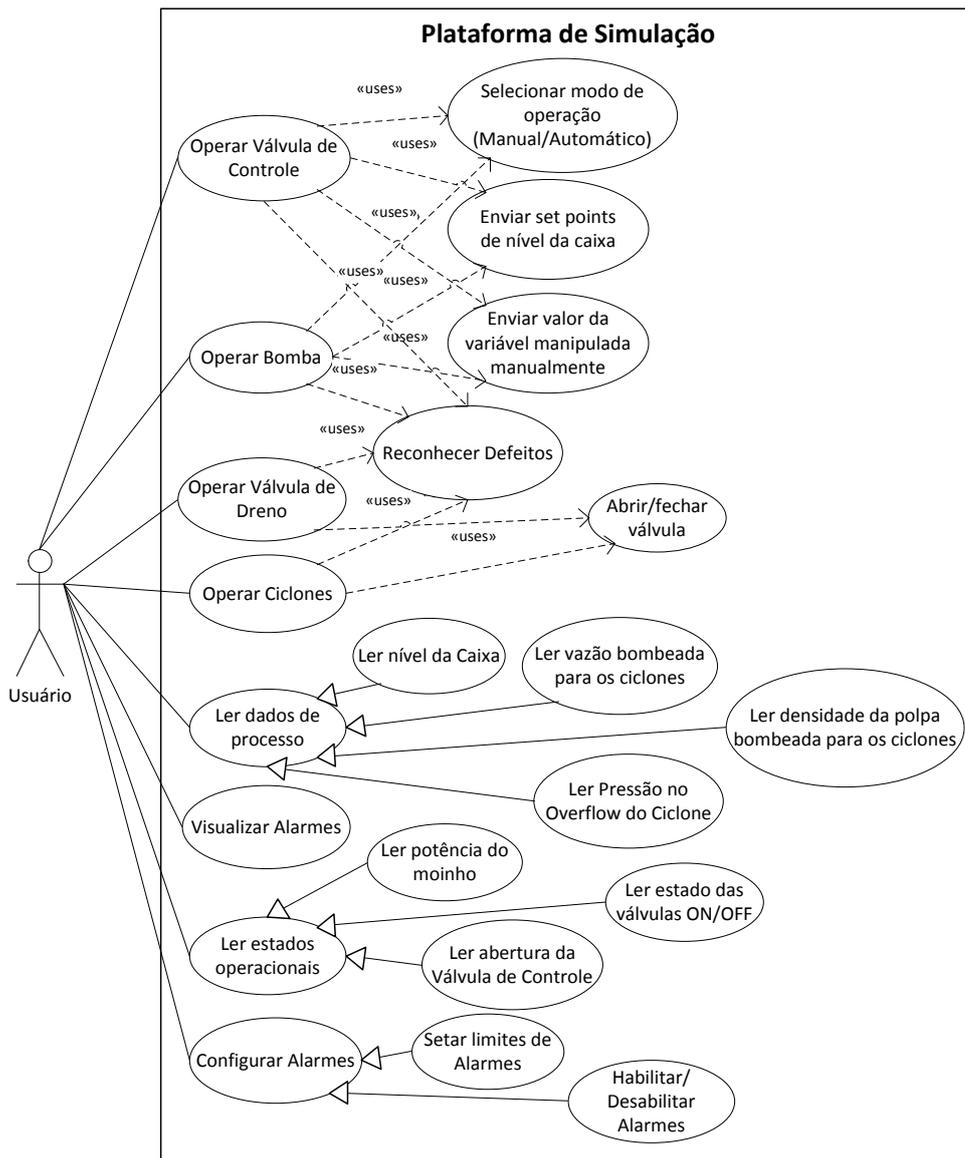


Figura 2 - Diagrama de Casos de Uso da interação entre o usuário e a plataforma de simulação.

Na plataforma desenvolvida, todas as indicações presentes no supervisão, como estado de válvulas, vazão na linha de recalque da bomba, nível de polpa na caixa etc., vêm do simulador de CLP, ao mesmo tempo em que é nele que são escritos todos os comandos que o usuário pode dar. Os endereços, no simulador de CLP, das variáveis associadas às indicações no supervisão são os pontos de interface entre os módulos do PC 1 e PC 2. Por isso, fizeram parte dos trabalhos nos módulos da Estação de Operação a identificação, no supervisão, de quais dados devem ser lidos e escritos pelos modelos, bem como o endereçamento, no servidor OPC, dos registradores utilizados do controlador programável, para viabilizar a interação entre o simulador de CLP e o subsistema limitado aos módulos da Estação de Simulação.

Essa interação, analogamente aos casos de uso entre o usuário e a plataforma como um todo, é feita em termos de acesso a funcionalidades predefinidas, sendo transparentes ao simulador de CLP o processamento e o fluxo de dados internos aos elementos da Estação de Simulação. Portanto, é alheio ao ator dessa interação os papéis do módulo de integração, que, representado pelo

OptSim, permite a coerente troca de dados entre os modelos operacionais e de processo, e do simulador em si, foco das seções 2.1 e 2.2.

2.1 Modelos Operacionais

Na interação com o sistema delimitado pela Estação de Simulação, as funcionalidades acessadas pelo simulador de CLP são representadas pelos casos de uso do diagrama ilustrado na Figura 3.

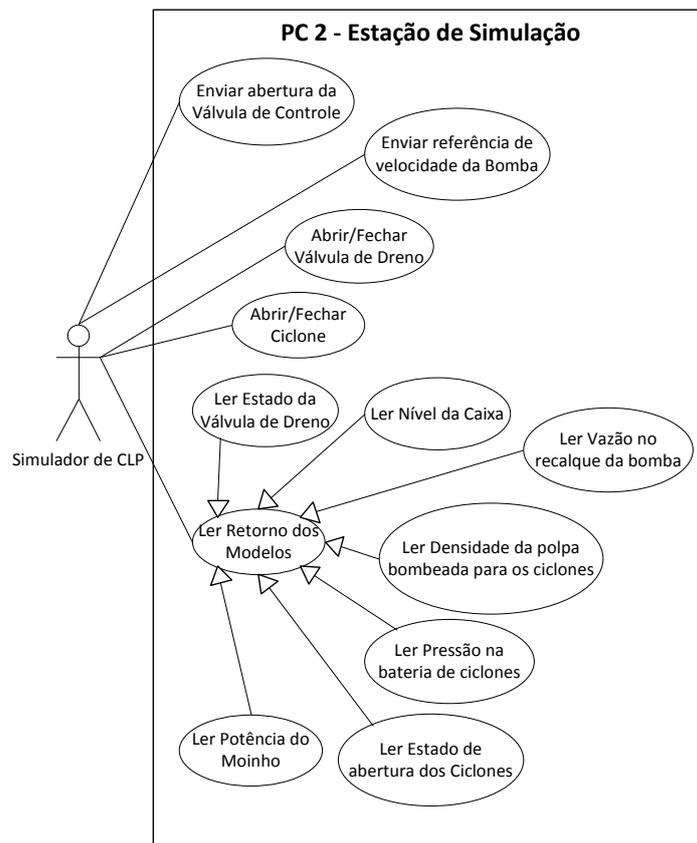


Figura 3 - Diagrama de Casos de Uso da interação entre o Simulador de CLP e a Estação de Simulação.

As ditas características operacionais dos elementos simulados do circuito de moagem consistem essencialmente em receber comandos de acionamento do simulador de CLP e gerar os estados de funcionamento dos equipamentos simulados. Nesse fluxo de dados, há três possíveis destinos para tais respostas: serem enviadas, via OPC, de volta à Estação de Operação, alimentarem outros modelos operacionais, para cálculos dinâmicos, ou serem transmitidas aos modelos de processo, para simulação estática. O primeiro caso ocorre quando a simulação tange apenas características puramente operacionais, como é o caso de retornos de aberto/fechado da válvula de dreno e dos ciclones. Já o segundo caso se faz presente quando é necessário processar a parte dinâmica da simulação, como integração do nível da caixa ou cálculo de vazões em função de comandos de abertura e referência de velocidade. Por fim, o terceiro caso diz respeito às variáveis de processo manipuladas pela simulação estática, como densidade, pressão etc.

Qualquer que seja o caso, a execução dos modelos operacionais e os envios de suas respostas fazem uso dos recursos do OptProcess©. Tais modelos incluem a bomba de polpa, a válvula solenoide de dreno, a caixa, a bateria de ciclone e a

válvula de controle. Todos eles foram projetados especificamente para a plataforma desenvolvida e são responsáveis por receber do simulador de CLP os comandos relativos à operação dos equipamentos, processá-los, gerar as saídas correspondentes, e enviá-las a seus respectivos destinos, citados anteriormente.

2.2 Modelos de Processo

Baseado em balanço de massa e nas equações dos equipamentos simulados, o Usimpac™ executa os modelos de processo da plataforma, que convergem cálculos para determinar as características, em estado estacionário, de todos os fluxos de polpa no circuito de moagem. Essas características incluem densidade, pressão, percentual de sólido, vazão de polpa etc.

Analogamente às interações usuário/plataforma e simulador de CLP/ Estação de Simulação, as funcionalidades do subsistema delimitado pelo módulo de integração e os modelos de processo são acessadas pelos modelos operacionais e o processamento é transparente ao ator dessa interação, representada na **Erro! Fonte de referência não encontrada.** Figura 4.

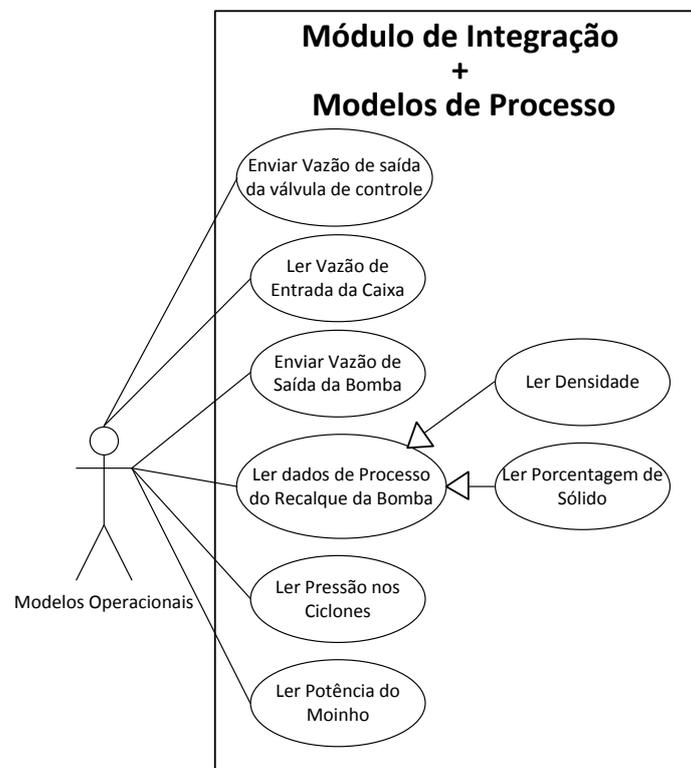


Figura 4 - Diagrama de Casos de Uso da interação entre os modelos operacionais e o sistema delimitado pelo módulo de integração e os modelos de processo.

A interação entre os modelos operacionais e os de processo se dá essencialmente de duas formas, a saber: lendo e alterando propriedades de fluxos ou de equipamentos. Esses elementos são apresentados no diagrama da Figura 5.

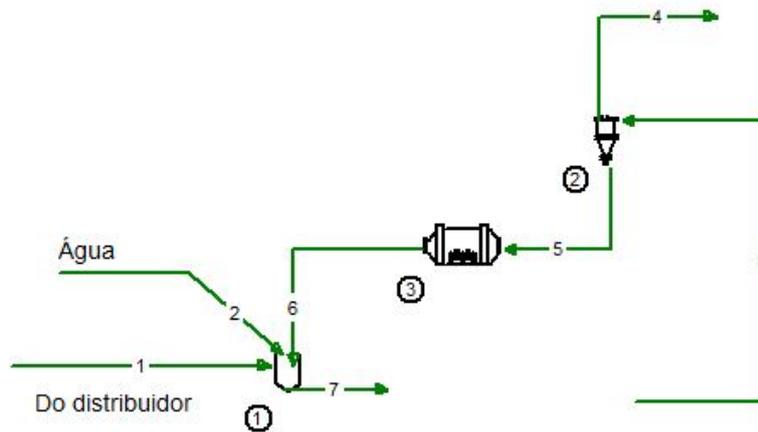


Figura 5 - Diagrama de interligação entre os modelos de processo do circuito de moagem.

A interação por acesso a propriedades de fluxos ocorre naqueles numerados como 2, 3 e 7. O primeiro deles é manipulado pelo modelo operacional da válvula de controle, capaz de aumentar e diminuir a vazão de água que vai ao somador (elemento 1 da Figura 5). Em função disso, o fluxo 7, que é a soma entre a água, a polpa do distribuidor e a descarga do moinho, também apresenta densidade e vazão variáveis, sendo esta enviada de volta ao modelo operacional da caixa. Com base nas vazões do fluxo 7, da válvula de dreno e da bomba, tal modelo simula a dinâmica de variação de nível e dá condições para que o modelo operacional da bomba altere a vazão do fluxo 3, o que resulta em alteração na carga circulante (fluxo 5) e no *overflow* do ciclone (fluxo 4).

A interação por manipulação de parâmetros de equipamentos é análoga à de fluxos. O modelo operacional da bateria de ciclones, por exemplo, altera um parâmetro do modelo estático desse mesmo equipamento (numerado como 2, na Figura 5): o número de ciclones em funcionamento. A simulação estática então modifica coerentemente a pressão na bateria e a retorna aos modelos operacionais. Outros parâmetros são de apenas leitura, como potência do moinho, densidade e porcentagem de sólidos do fluxo 3.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Da mesma forma que a interação do usuário se dá pelo sistema supervisório, é por ele que são avaliados os resultados do desenvolvimento da plataforma. Como exposto anteriormente, é esperado da plataforma poder disparar um conjunto bem definido de comandos pelo supervisório e nele observar a reação dos elementos simulados da planta de moagem de bolas. Todas as funcionalidades dessa interação, descritas em casos de uso, podem ser acessadas com sucesso.

A simulação em si se dá em três níveis. Em um deles, o comando do usuário chega ao simulador de CLP e o resultado é diretamente retornado ao supervisório, como é o caso de alarmes, processados e gerados pelo controle lógico e sequencial. No segundo nível, comandos que chegam ao simulador de CLP são transmitidos aos modelos operacionais e por eles são gerados os retornos ao usuário, como é o caso dos estados operacionais dos equipamentos. O terceiro nível apresenta um fluxo de dados que se estende por todos os módulos da plataforma, mesclando simulação dinâmica e estática, de forma que um comando do usuário chega ao simulador de CLP, excita os modelos operacionais, que comutam estados de funcionamento, processam variáveis dinâmicas e acionam o módulo de integração,

culminando no disparo de uma sequência de simulações estáticas e, conseqüentemente, na geração de novos valores para as variáveis de processo. Como esperado, todos os resultados dos três níveis de simulação chegam ao usuário por indicações no supervisório, como resultado do acesso ao conjunto de funcionalidades apresentados no diagrama de casos de uso da Figura 2.

A abordagem do projeto por casos de uso e fluxo de eventos, focando na maneira com que os diversos atores interagem com seus respectivos subsistemas, levou à adoção de estrutura modular para o sistema. Com a premissa de se fazer os diversos acessos a funcionalidades serem transparentes ao ator da interação com determinado subsistema, tal adoção foi julgada como coerente. Isso objetiva dar expansibilidade ao sistema, facilitando eventuais agregações de novas funcionalidades ao simulador desenvolvido, como manipulação da simulação e ferramentas de avaliação do treinando, que fazem parte de um OTS completo.

A adoção de arquitetura distribuída, e não em rede, dispensa tecnologias extras para conferir robustez ao tráfego de dados no sistema. A arquitetura em rede, apesar de apresentar a praticidade de tratar as estações de treinandos e instrutores como clientes da rede – o que é adequado a processos de larga escala –, demanda atenção a tecnologias de confiabilidade e estabilidade, como é o caso do OTS desenvolvido por Park, Lee e Moon,⁽³⁾ com suporte a múltiplos sistemas de treinamento. A arquitetura distribuída abre margem ainda para que mais módulos possam agregados à plataforma com facilidade, sendo possível utilizar computadores diferentes para suas respectivas execuções, o que ou exige, de cada um, menos carga de processamento, ou permite que os recursos computacionais sejam dedicados à execução de modelos de maior grau de complexidade.

A utilização do supervisório como única interação com o usuário dispensa o uso de realidade virtual por parte da plataforma desenvolvida. Diante da tendência, apontada por Stawarz e Sowerby,⁽⁴⁾ da utilização de programação procedural para esse fim se tornar demasiadamente dispendiosa e dos elevados custos das interfaces gráficas de realidade virtual, ganha espaço trabalhos como o de recriação do ambiente virtual a baixo custo, para execução em PC,⁽¹³⁾ e utilização de VRML para interface web, focado em redução de custo e tempo de desenvolvimento.⁽²⁾ Ao deixar de utilizar realidade virtual, a plataforma desenvolvida não passa por desafios de desenvolvimento dessa natureza.

A solução de mesclar simulação estática e dinâmica na mineração se faz presente não só para propósitos de treinamento, como é o caso deste trabalho, mas também para projeto e operação de planta, como fazem Nikkhah e Anderson⁽¹⁴⁾ sobre o papel desse tipo de simulação nas fases conceitual e detalhada de projeto.

4 CONCLUSÃO

Este trabalho aplica os conceitos de simulação para treinamento no desenvolvimento de uma plataforma que ofereça ao usuário, por meio de um supervisório real, algumas funcionalidades típicas de um OTS, focando na simulação dos principais elementos de um circuito de moagem de minério e na operação da planta representada, sob a perspectiva de acesso a funcionalidades, representadas por casos de uso.

Os ensaios de operação conduzidos demonstraram que todos os casos de uso planejados para a interação entre o usuário e a plataforma se cumprem. Em linhas gerais, o desenvolvimento consiste na adaptação do código executado pelo simulador de CLP utilizado, no projeto de modelos dinâmicos e na integração de um

simulador estático de processo ao sistema, observando o caráter modular da plataforma como um todo, o que é refletido na segregação entre modelos operacionais e de processo, bem como na adoção de arquitetura distribuída.

Do ponto de vista de aplicação dos princípios de OTS na implementação de uma plataforma modular expansível, com recursos bem definidos a serem oferecidos ao usuário, o projeto cumpre seus objetivos. É cabível a colocação de que o foco em obter um sistema capaz de oferecer algumas funcionalidades de OTS ao usuário se sobrepõe ao grau de complexidade da simulação. Assim, se faz notória a expansibilidade alcançada pela adoção de arquitetura distribuída e estrutura modular, por permitir que novos modelos sejam projetados e integrados, com facilidade, à plataforma desenvolvida, utilizando os mesmos softwares empregados.

REFERÊNCIAS

- 1 CAMERON, D.; CLAUSEN, C.; MORTON, W. Dynamic Simulators for Operator Training. In: BRAUNSCHWEIG, B.; GANI, R. Computer Aided Chemical Engineering. 1. ed. [S.l.]: Elsevier Science, v. 11, 2002. Cap. 5, p. 393-431.
- 2 TAM, E. K. et al. A Web-based virtual environment for operator training. IEEE Transactions on Power Systems, v. 14, n. 3, p. p. 802-808, Aug. 1999. ISSN 0885-8950.
- 3 PARK, S.; LEE, S.; MOON, I. Superstructure of yOTS - The Network-based Chemical Process Operator Training System for Multiple Trainees. Korean Journal of Chemical Engineering, 18, n. 6, Nov. 2001. p. 788-795.
- 4 STAWARZ, A. C.; SOWERBY, B. Cost Effective Operator Training. Computers & Chemical Engineering, 19, Jun. 1995. p. S459-S464.
- 5 AHMAD, A. L.; LOW, E. M. Development of an Operator Training System for Gas Sweetening Plant. European Symposium on Computer Aided Process Engineering, Nápoles, n. 20, Jun. 2010.
- 6 SHIN, D.; VENKATASUBRAMANIAN, V. Intelligent Tutoring System Framework for Operator Training for Diagnostic Problem Solving. Computers & Chemical Engineering - An International Journal of Computer Applications in Chemical Engineering, 20, 1996. p. 1365-1370.
- 7 LEE, S.; JEONG, I.; MOON, I. Development of evaluation algorithms for operator training system. Computers & Chemical Engineering, 24, 2000. p. 1517-1522.
- 8 DUDLEY, T. et al. The Operator Training Simulator System for the Pebble Bed Modular Reactor (PBMR) Plant. Nuclear Engineering and Design, 238, n. 11, Nov 2008. p. 2908-2915.
- 9 VEH, A. O.-V. et al. Design and Operation of a Virtual Reality Operator-Training System. IEEE Transactions on Power Systems, Montréal, v. 11, n. 3, Aug 1996.
- 10 SANTOS, T. T. D. Utilização do Protocolo OPC-DA na Integração de um Sistema OTS. Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, p. 93. 2008.
- 11 CHAVES, A. P.; PERES, C. A. E. Teoria e Prática do Tratamento de Minérios - Britagem, Peneiramento e Moagem. 4. ed. São Paulo: Signus, v. 3, 2009.
- 12 MORGAN, S. W.; SENDELBACH, S. P.; STEWART, W. B. Improve process training with dynamic simulation. Hydrocarbon Processing, Houston, 73:4, Apr 1994. p. 51-60.
- 13 TAM, E. K. et al. A Low-Cost PC-Oriented Virtual Environment for Operator Training. IEEE Transactions on Power Systems, 13, n. 3, Aug 1998.
- 14 NIKKHAH, K.; ANDERSON, C. Role of simulation software in design and operation of metallurgical plants: a case study. Trabalho apresentado no SME Annual Meeting. Denver: [s.n.]. 2001. p. 13.