

HTHM: Sistema gerenciador de tubos de trocadores de calor que emprega realidade aumentada em dispositivos móveis

Wallas H. S. dos Santos, Anselmo C. de Paiva, Aristófares C. Silva
Núcleo de Computação Aplicada
Universidade Federal do Maranhão
São Luís - MA, Brasil
wallashss@nca.ufma.br, paiva@deinf.ufma.br, ari@dee.ufma.br

Carlos C. Buruaga
Consórcio de Alumínio do Maranhão - ALUMAR
Alcoa Inc. Brasil
São Luís - MA, Brasil
carlos.buruaga@alcoa.com.br

Abstract—This paper presents an industrial system for management and monitoring of heat exchanger tubes. The system was developed for web to be available at factory intranet for its needs. In addition to the solution, an augmented reality prototype application for mobile devices was created. This application aims to assist the inspection of heat exchangers to be performed directly on the shop floor. Thus there is a decrease in the time of obtaining and transmitting data to the system bringing an innovation in the inspection of heat exchangers.

Keywords—Heat Exchangers; Augmented Reality; Automation System ;Industry;

Resumo—Este artigo apresenta um sistema industrial para gestão e monitoramento de tubos de trocadores de calor. O sistema foi desenvolvido para web sendo disponibilizado na intranet da fábrica que o precisa para gestão dos seus equipamentos. Em adição a solução, um protótipo foi criado de uma aplicação para dispositivos móveis com realidade aumentada. Essa aplicação visa facilitar a inspeção dos trocadores de calor para ser realizado diretamente no chão de fábrica. Dessa forma há uma diminuição do tempo de obtenção e transmissão de dados ao sistema trazendo uma inovação na inspeção de trocadores de calor.

Palavras-chave—Trocadores de calor; Realidade aumentada; Sistemas de Automação; Indústria;

I. INTRODUÇÃO

Refinarias utilizam trocadores de calor para aquecer ou resfriar materiais de processos químicos em larga escala. Existem variados tipos de trocadores de calor, seu projeto depende da finalidade a que se destina. Os abordados nesse trabalho são classificados como trocadores de calor de tubos e casco.

Na gestão de manutenção de trocadores de calor é importante manter o histórico da evolução dos estados e serviços executados em cada tubo durante a sua vida útil. Esta prática permite gerenciar o desempenho do equipamento e criar projeções para manutenções preventivas. Uma manutenção muito antecipada é eficiente, mas pode causar custos desnecessários. Em contrapartida uma intervenção muito tardia causaria transtorno e paralisação da produção numa refinaria.

Outro problema na manutenção dos trocadores de calor é o registro de inspeção. Para realizar essa atividade a tampa

do casco chamado de cabeçote é removida. O mecânico que realiza a atividade de manutenção se depara com a visão de uma chapa de aço chamada espelho, que contém a malha dos feixes tubulares. Esta disposição é semelhante à topologia de uma colmeia. Sob esta é criado um sistema de mapeamento de tubos, usualmente coordenadas compostas por linha e coluna para a identificação de cada tubo. Essa atividade é bastante propícia a erros, pois o operador deve manter uma contagem precisa de tubos para fazer as anotações devidas. Um trocador pode ter por volta de 25 a 2000 tubos. Depois de preencher os formulários, o técnico deve fazer a transferência de dados do formulário para o sistema. Nota-se assim que existe um trabalho duplicado e uma tendência a erros relativamente alta.

Este artigo apresenta a solução *Heater Tube and Health Management* (HTHM) para o gerenciamento e monitoramento de tubos de trocadores de calor. Mostra como os módulos atendem os requisitos de cada particularidade do problema. A motivação para o desenvolvimento deste *software* se deve a necessidade de utilizar o máximo da vida útil dos tubos. Dessa forma a fábrica reduz custos uma vez que a manutenção só é realizada quando necessário minimizando também o risco de problemas no processo.

Para a resolução do problema de inspeção de trocadores de calor é proposto também uma aplicação para dispositivos móveis que utiliza realidade aumentada. Essa aplicação está integrada na solução HTHM como uma inovação para manutenção de trocadores de calor. A mobilidade que essa aplicação traz tem como objetivo a troca de dados com o sistema direto do chão de fábrica. Enquanto a realidade aumentada é utilizada para criar uma nova interface virtual para o registro de dados dos tubos dos trocadores de calor.

Nas demais seções, detalhes são apresentados sobre a pesquisa e as soluções dos problemas deste artigo. A seção II dá noções básicas sobre trocadores de calor. A seção III apresenta conceitos sobre realidade aumentada e o ARToolkit como um software para o desenvolvimento de aplicações. A seção IV detalha a implementação do sistema HTHM junto a uma solução com realidade aumentada para a resolução do problema de inspeção. Finalmente, na seção V as considerações finais sobre

trabalho e os trabalhos futuros.

A. Trabalhos Relacionados

A Realidade Aumentada (RA) tem sido utilizado em diversos domínios como saúde, educação, entretenimento, militar, manufatura e etc. [1] [2] [3] [4] [5]. Na área de manutenção, máquinas possuem estruturas complexas e exigem um alto nível de conhecimento e habilidade para serem reparadas. Aplicações de RA têm provado ser úteis em atividades de manutenção ao exibirem informações extras em tempo real aos técnicos que estiverem realizando manutenções [5].

O projeto *Augmented Reality for Maintenance and Repair* (ARMAR) faz um estudo de como aplicações RA podem melhorar a produtividade, precisão e segurança do pessoal no reparos de equipamentos. Os protótipos desenvolvidos mostram em tempo real rótulos, elementos 3D para usuários utilizando *Head-Mounted Displays* (HMD) durante reparos em máquinas [6]. Klinker *et al* apresenta um sistema de RA para inspeção de usinas em Framatome ANP (hoje AREVA) [7]. Martín-Gutierrez mostra um caso de uso onde compara o uso *smartphone* e HMD em sistema de RA que auxiliar no conserto de freios de bicicleta [8].

Mediante a literatura apresentada podemos concluir que essa tecnologia mostra-se promissora para ser utilizado na solução do registro de inspeção de tubos de trocadores de calor proposta pelo artigo. Além de também propor novas tendências no desenvolvimento de aplicação de RA aplicada à indústria.

II. TROCADORES DE CALOR

Trocadores de calor são equipamentos que realizam a troca térmica de dois materiais, geralmente dois fluídos com temperaturas diferentes. Podem ser utilizados tanto para aquecer ou resfriar. Existem diversos tipos de trocadores, seu projeto depende da sua finalidade. Alguns exemplos de utilização de trocadores de calor:

- *Sistemas de Refrigeração.* Trocadores de calor que tem como finalidade resfriar um ambiente ou máquina;
- *Indústria de Alimentos.* Utilizado no processo de pasteurização de leite que esteriliza o alimento;
- *Refinarias.* Indústria de Alumina e Petróleo utilizam em seus processos químicos para aquecimento ou resfriamento de materiais em larga escala;
- *Veículos.* Aeronaves utilizam para manter aquecido o combustível a fim de ter um bom desempenho do motor. Locomotivas têm nos seus motores caldeiras que são trocadores de calor para produzir vapor que dará energia ao veículo.

A. Trocadores de calor de casco e tubos

Trocadores de calor de casco e tubos são utilizados em aplicações de alta pressão. São os mais utilizados em processos químicos em larga escala. A Figura 1 mostra um exemplo deste tipo de trocador.

Estes equipamentos são constituídos por um cilindro de aço externo, chamado de casco, e no seu interior por grupos de feixes tubulares removíveis dispostos paralelamente denominados



Figura 1. Trocador de calor de casco e tubo com o cabeçote aberto para manutenção.

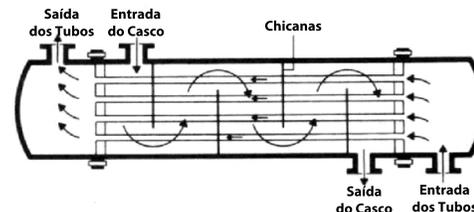


Figura 2. Esquema da estrutura interna de um trocador de calor.

passes. Um trocador pode ter um ou mais passes. Nos tubos circulam fluídos que terão sua temperatura alterada pelo fluído do casco. A troca térmica é feita através das paredes dos tubos e não deve haver mistura dos dois fluídos. Os feixes tubulares são suportados em uma estrutura chamada chicana que ajuda a direcionar o fluído dos tubos e manter a estabilidade das altas vibrações provocada pelos fluxos dos fluídos. A Figura 2 mostra a esquemática da estrutura interna de um trocador de cascos e tubos que possui um passe somente.

Existem quatro tipos de *layouts* de trocadores de casco e tubos que são apresentados na Figura 3: triangular (30°), triangular rotacionado (60°), quadrado (90°) e quadrado rotacionado (45°). A escolha do *layout* depende da aplicação.

A forma triangular e triangular rotacionado permitem maior turbulência do fluído nos tubos e conseqüentemente maior coeficiente de transferência de calor. Esse padrão também acomoda mais tubos que o padrão quadrado. Porém nesta estrutura não é possível remover o feixe de tubos dos cascos para fazer a manutenção mecânica, somente a limpeza química do equipamento. Para casos onde é necessário fazer a limpeza mecânica o padrão quadrado é então escolhido. No padrão quadrado há menos turbulência dos fluídos e um menor coeficiente de transmissão de calor que o padrão triangular [9].

A manutenção deste equipamento deve ser periódica. Um dos problemas mais comum que os trocadores de casco e tubos enfrentam são as incrustações que podem ser a raiz de vários outros. A incrustação ocorre pela precipitação de resíduos dos materiais nos processos dentro dos trocadores. A obstrução parcial ou total dos tubos causada pelas incrustações geram os seguintes problemas:

- *Diminuição da eficiência da troca térmica.* Ao envolver

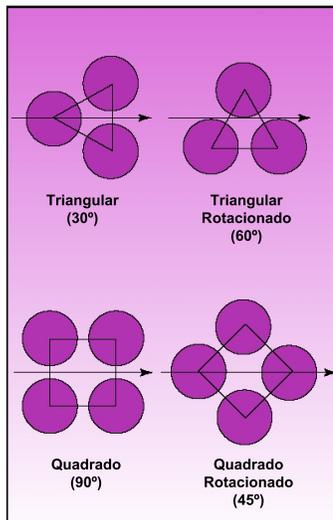


Figura 3. Padrão *layouts* de tubos para trocadores de tubos e cascos. [9]

as paredes do tubos com mais material, a eficiência da troca térmica é prejudicada. As paredes ficam mais espessas e consequentemente mais energia é desperdiçada na transmissão de calor do casco para o fluido dentro do tubo.

- **Alteração da velocidade do fluido.** As obstruções parciais e totais diminuem a área para a passagem dos fluidos. Com a diminuição da área e fluxo constante, a velocidade aumenta e faz diminuir o tempo de passagem dos fluidos para a troca de calor. O resultado do processo tende a ser prejudicado por receber o material em uma temperatura diferente da ideal.

Para limpeza dos tubos, podem ser utilizados dois tipos de manutenções: mecânica e química. Na manutenção mecânica, a tampa do trocador, chamado cabeçote, deve ser removido e então pode ser aplicado um jato de água de alta pressão para remover as obstruções totais. Entretanto as incrustações das paredes tendem a não ser removida com essa técnica.

A limpeza química deve ser realizada com o trocador fechado. É alterado o fluido que passa pelos tubos ou casco para outro tipo de solução química. Esta solução pode ser ácida ou básica. Nesse caso, há uma limpeza muito severa dos tubos que remove as incrustações que comprometem a eficiência do equipamento. Porém essa limpeza gera outro problema também: a solução corrosiva faz a deterioração das paredes de tubos. E se não houver um monitoramento dos tubos podem ocorrer furos nos tubos e gerar a contaminação do processo.

Caso a desobstrução dos tubos não é possível ou se o tubo estiver comprometido com trincas ou furos, este pode ser trocado ou tamponado. O tamponamento consiste em soldar as tampas do tubo retirando-o do circuito do fluido. Geralmente é realizado quando há um vazamento e não é possível trocar o tubo no momento. A troca de tubos repõe um tubo antigo por um novo, porém gera um custo moderado para a fábrica.



Figura 4. Exemplo de um marcador reconhecível pelo ARToolKit.

III. REALIDADE AUMENTADA

Realidade Aumentada (RA) menciona-se a tecnologia de adição de elementos artificiais à realidade, através de sistemas de computação. Segundo Milgram *et al* [10] RA é uma particularidade da Realidade Misturada assim como Realidade Virtual (RV). A RV trata-se da imersão do usuário em um mundo totalmente sintético e artificial, podendo ou não interagir com o ambiente virtual; enquanto na realidade aumentada, o usuário encontra-se imerso no mundo real tendo sua experiência com elementos da cena virtual influenciada pelas leis naturais como, por exemplo, a física dos corpos. Segundo Azuma [1], dessa forma a Realidade Aumentada define-se como a adição de elementos virtuais nos sentidos do usuário.

Para a sobreposição de elementos virtuais sobre a realidade é necessário técnicas de rastreamento. Estas podem ter diversas naturezas: princípios mecânicos, magnéticos, ultrassom, imagens e etc. [11]. Hoje com a popularização das câmeras digitais e do avanço das tecnologias de visão computacional, o rastreamento óptico por vídeo tem sido a solução mais utilizada e difundida na área de RA. Uma ferramenta bastante adotada para criação de aplicações baseada em RA é o ARToolKit.

A. ARToolKit

O ARToolKit é uma ferramenta muito utilizado para criação de aplicações RA. É baseada em visão computacional para adquirir o ponto de visão do usuário e fornecer a projeção no espaço para renderização de objetos a fim de criar um ambiente de realidade misturada.

O ARToolKit possui um mecanismo de rastreamento da visão do usuário através de detecção de marcadores em vídeos. Estes possuem a forma de um quadrado com uma borda de cor preta espessa e um símbolo no seu interior. Inicialmente a câmera do sistema RA começa a captura do vídeo onde cada quadro deste será processado em busca de marcadores. Para tal, técnicas de visão computacional são utilizadas. A Figura 4 mostra um exemplo de um marcador do ARToolKit.

Uma limiarização é aplicada em cada quadro do vídeo a fim de obter uma nova imagem binária. O resultado desse processamento deve segmentar o marcador. Para o bom funcionamento desse processo é necessário também que haja uma borda branca envolvendo a borda preta onde está o símbolo que carrega o marcador. Com este bem segmentado, é possível detectar os vértices da forma para localizá-la no ambiente real. Calcula-se uma matriz de transformação proveniente de sua posição que será utilizada para projetar imagens na visão

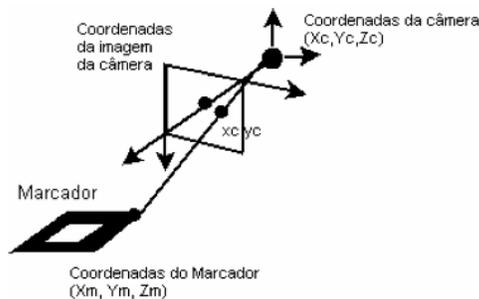


Figura 5. Relacionamento entre os sistemas de coordenadas do marcador e da câmera. [12]

da câmera. A Figura 5 mostra a relação entre a posição do marcador e as coordenadas da imagem da câmera.

Após o cálculo é necessário detectar o símbolo que está contido no marcador. Esse elemento é identificado através de comparação com símbolos previamente cadastrados. Então detectando o marcador e sua posição, e o símbolo contido neste, é possível desenhar o elemento virtual para compor a cena do sistema de RA.

1) *ARToolKit for iOS*: *ARToolKit for iOS* é uma versão do *ARToolKit* proprietária para dispositivos móveis Apple [13]. Possui classes implementadas em Objective-C que permitem construir aplicativos para iOS com realidade aumentada. Seu funcionamento é semelhante a distribuição padrão.

Nesta versão é utilizada a câmera do dispositivo para captura de imagens do mundo real. Devido ao reduzido número de dispositivos que suportam o iOS, o *software* é capaz de identificar qualquer dispositivo em que a aplicação está sendo executada. Sendo assim torna-se uma tarefa simples obter calibração da câmera adequada para o mesmo. O processamento da entrada utiliza as mesmas técnicas empregadas na versão de computador de mesa inclusive suportando a mesma representação de padrões de marcadores deste. Para renderização dos gráficos que vão sobrepor o mundo real é utilizado a versão do OpenGL voltada para sistemas embarcados, o OpenGL ES [14][15].

IV. HTHM - HEATER TUBE AND HEALTH MANAGEMENT

O sistema Heater Tube and Health Management (HTHM) foi criado com propósito de auxiliar a gestão e monitoramento de tubos de trocadores de calor de uma refinaria. A base do sistema HTHM foi desenvolvido na plataforma ASP.Net [16]. As páginas ASP possuem telas para as seguintes funcionalidades principais:

- *Cadastro de Trocador de Calor*. Cria o registro de um trocador de calor contendo as informações básicas do equipamento e parâmetros para desenhar os feixes tubulares.
- *Gerenciamento de Ordem de Serviço(OS)*. Esse módulo registra os serviços aplicáveis ao trocador de calor desde a inspeção, planejamento e manutenção do equipamento. Armazena dados como datas dos serviços, estado do

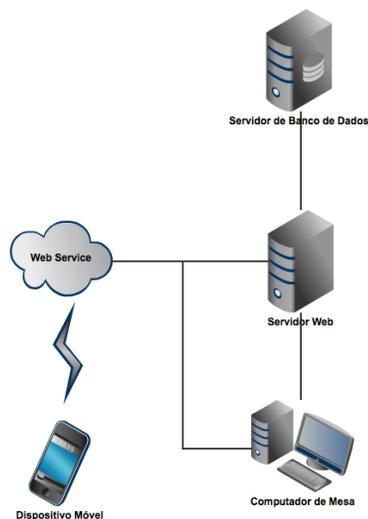


Figura 6. Arquitetura do sistema HTHM.

equipamento, imagens das atividades, notas e dentre outros.

- *Planejamento de troca de tubos*. Cria um planejamento inteligente com regras básicas do negócio a partir dos dados histórico do equipamento.
- *Emissão de Relatórios*. Emitem relatórios como estado atual dos tubos, execução de serviços, planejamento de trocas e dentre outros.

Para alguns módulos específicos foi criada uma aplicação Silverlight [17], pois exigiam uma interface mais rica que uma página web tradicional. Dentre elas podemos destacar a edição de trocador de calor e registro de inspeção e manutenção. Em seguida a solução foi estendida para dispositivos móveis, na plataforma iOS, que trouxe mobilidade a aplicação e tornou possível a utilização de realidade aumentada em atividades no campo. A comunicação dessas duas aplicações que são executadas no dispositivo do cliente (*desktop* e dispositivo móvel) com a base de dados do sistema se dá via *Web service* [18].

A Figura 6 mostra a arquitetura do sistema. Um computador de mesa pode acessar o sistema via páginas ASP que estão no servidor *Web*. As aplicações Silverlight e iOS porém somente são capazes de acessar os dados via *Web Service*. Embora o navegador *Web* do dispositivo móvel também ser capaz de acessar as páginas ASP.

A. Editor de Trocadores

A configuração inicial do sistema é feita pelo cadastro dos trocadores. A edição dos trocadores possui duas etapas: cadastrar os parâmetros básicos na tela ASP e em seguida editar a visão da malha de tubos de cada equipamento na aplicação Silverlight. A representação dos tubos seguem o padrão de *layout* descritos na Seção II.

Seguindo os padrões de disposição existentes de tubos,

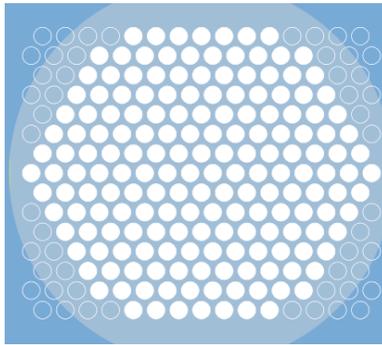


Figura 7. Detalhe de uma edição de um trocador na aplicação Silverlight

para editar um trocador é necessário inserir os parâmetros do desenho técnico do mesmo. Dentre esses se encontram:

- *Diâmetro do tubo e do trocador.* A relação diâmetro do tubo e diâmetro do trocador impacta no tamanho dos tubos que será apresentado na tela. O espelho do trocador, região circular que contém os tubos ao abrir o cabeçote do equipamento, tem tamanho fixo na representação do equipamento. Porém, os tubos podem ter variados tamanhos dentro da imagem.
- *Passe.* O passe é representado por um retângulo. Cada passe contém um feixe tubular. As informações do passe definem seu tamanho, a posição do mesmo dentro do espelho do trocador e a disposição dos tubos internamente.
- *Distância entre tubos.* Define a distância do centro dos tubos.
- *Quantidade de linhas e colunas.* A malha de tubos é representada em uma matriz onde cada célula está associada a um tubo. As linhas e tubos definem as dimensões da matriz e conseqüentemente do feixe tubular.
- *Ângulo entre tubos.* Este parâmetro define o comportamento da disposição dos tubos: 30°, 60°, 90° e 45° como apresentados na Figura 3.

A inserção dos parâmetros gera uma malha completa que possui uma quantidade de tubos maior que o trocador real suporta. No segundo passo da edição, deve-se retirar os tubos não pertencentes. A Figura 7 mostra o detalhe de um trocador sendo editado, no qual possui círculos preenchido brancos e outros sem preenchimento que indica a existência ou não de um tubo respectivamente.

B. Registro de inspeção e manutenção

Feito o cadastro de trocadores na base de dados é possível criar OS e iniciar os registros de inspeção e planejamento de serviço dos tubos. A criação das OS são feitas na página ASP. O usuário seleciona um trocador, define as datas de início e fim, motivos da OS dentre outras informações sobre o serviço. Em seguida, pode-se emitir formulários para serem utilizados no registro de inspeção. Utilizando estes, técnicos devem ir ao campo e preencher com as informações cabíveis. Após a inspeção deve-se inserir os dados da inspeção no sistema para manter um histórico do estado dos equipamentos e trabalhar

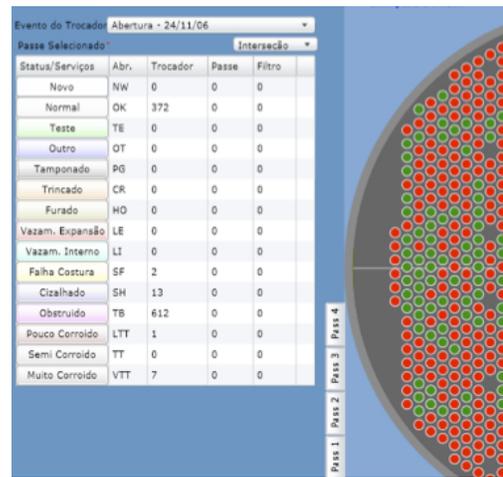


Figura 8. Detalhe de registro de manutenção na aplicação Silverlight

planejamento de serviços dos mesmos. A inserção de dados é feita tubo a tubo utilizando uma tela Silverlight.

A Figura 8 mostra a edição da manutenção de tubos de um trocador onde a coloração simboliza a presença de uma determinada informação no tubo. A tabela a esquerda do desenho do trocador possui sumarizações e os estados possíveis cadastrados no sistema. Esses estados dos tubos em geral podem ser:

- *Normal;*
- *Obstruído;*
- *Corroído;*
- *Tamponado;*
- *Furado/Vazando/Trincado*

Em outro momento existe o planejamento de manutenção dos tubos de um trocador. Nesse caso, numa visualização semelhante ao registro de estados é possível ver e modificar ações que devem ser realizadas em cada tubo. Essas ações devem corrigir os problemas encontrados na abertura do trocador. Dentre estas podem ser citadas:

- *Sem manutenção;*
- *Troca de tubo;*
- *Tamponar;*
- *Desobstruir.*

C. Relatórios e Planejamento de troca de tubos

Ao popular o sistema com informações dos dados dos tubos, é possível para a equipe de manutenção realizar estudos com as informações coletadas. O software gera relatórios com o estado dos trocadores que podem ser utilizados para identificar problemas e oportunidades na operação dos equipamentos. Um módulo também importante para o usuário é fazer a projeção de troca de tubos antes que estes causem contaminações que podem impactar na produção da refinaria.

D. Aplicação iOS

Mediante a necessidade de melhorar os registros de inspeção em trocadores de calor, foi desenvolvido um protótipo que visa



Figura 9. Trocador migrado depois de uma sincronização na aplicação iOS.



Figura 10. Lista de estados para seleção e sumarização da inspeção.

adicionar à solução uma aplicação que possa ser executada em dispositivos móveis. A aplicação comunica-se com sistema principal e facilita a atividade de obter e registrar os dados de manutenção dos tubos. Através de uma interface de toque, o usuário é capaz de fazer inspeções e submeter ao sistema. Então é dispensado a utilização do formulário tradicional e o computador de mesa e as atividades podem ser executadas diretamente no campo. A interface no dispositivo móvel é otimizada para visualização e edição de dados dos tubos de forma mais rápida, enquanto a Silverlight é mais propícia para ser utilizado para análises mais detalhadas ou operações mais complexas.

1) *Sincronização de dados:* O aplicativo para ser utilizado, é necessário primeiro que haja a sincronização dos dados do dispositivo com o do sistema principal. A sincronização consiste em obter todos os modelos e as instâncias dos trocadores e fazer a persistência local. Para isso a aplicação comunica-se com o *Web Service* do sistema e faz requisições dos parâmetros de *design* de trocadores. A Figura 9 mostra a representação de um trocador migrado para a aplicação.

2) *Edição e Visualização de dados da manutenção:* Com os modelos dos trocadores propriamente armazenados no dispositivo móvel é possível criar registro de inspeção e visualizar ações de manutenções dos tubos. Essas informações devem ser obtidas sob demanda enquanto o dispositivo estiver na rede.

Para iniciar um registro o usuário seleciona um trocador e na tela seguinte seleciona um estado por vez para inserir nos tubos. A Figura 10 mostra a lista de estado no iOS. A próxima tela, onde se encontra a visualização dos tubos, deve-se tocar aqueles que possuem o estado selecionado anteriormente, como apresentado na Figura 11. Ao concluir pode-se voltar a tela anterior e selecionar os demais estados, nota-se também que na seleção do item há sua sumarização no evento sendo editado. A visualização do planejamento com as ações a serem

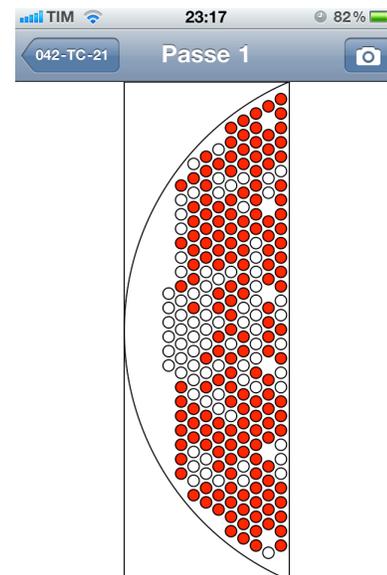


Figura 11. Tubos sendo editados na aplicação iOS.

executadas nos reparos dos tubos funciona de forma análoga, porém nesse caso há um maior interesse em visualizar e não editar como na inspeção.

3) *Sistema de RA com Marcadores:* Seguindo a mesma lógica é possível na aplicação visualizar projeções dos tubos através de realidade aumentada. Para isso deve-se acionar a câmera dentro da aplicação na tela visualização e edição de dados dos tubos. A Figura 11 mostra o botão que aciona o sistema de RA no canto superior direito da tela. O usuário então deve visualizar o trocador pela câmera que já deve ter sido equipado com um ou mais marcadores estrategicamente colocados. Para as projeções sobreporem adequadamente os tubos no display do dispositivo, foi definido que o quadrado

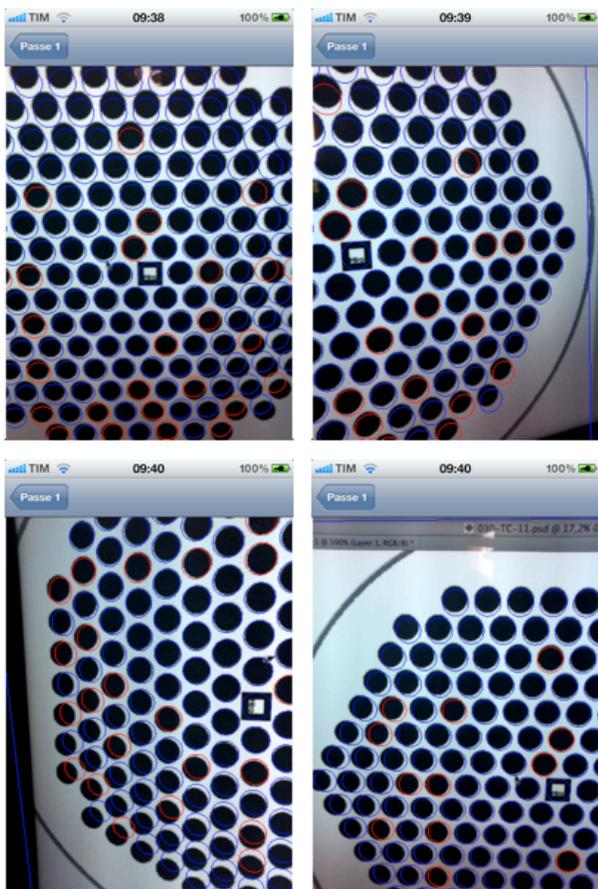


Figura 12. Visão da Realidade Aumentada da aplicação sendo executada no iOS.

do marcador deve ter arestas de tamanho igual ao diâmetro dos tubos. O mecânico deve colocar o marcador na posição de um tubo bem ajustado garantindo assim a sobreposição.

Desenvolvido com o *ARToolKit for iOS* a aplicação utiliza da câmera do dispositivo móvel para detectar os marcadores e exibir as projeções dos tubos sobre o trocador. As projeções dos tubos são renderizadas sobre o vídeo utilizando rotinas de desenhos escritos em OpenGL ES. Essas rotinas seguem os mesmos princípios da aplicação *Web* e *Silverlight* e utiliza os parâmetros de desenho dos trocadores que são obtidos na sincronização.

Ao detectar um marcador no vídeo, o *ARToolKit* calcula a matriz de transformação do OpenGL ES para mostrar as projeções adequadamente. Depois de aplicado a transformação, é renderizado os círculos que representam os tubos e então o usuário tem sua cena de RA gerada no dispositivo móvel.

A Figura 12 mostra ilustrações da malha de tubos de um trocador sendo sobreposto pelo sistema de RA. Na tela do dispositivo mostra as projeções dos tubos como circunferências com cor azuis ou vermelhas. A coloração representa um valor booleano para indicar a presença de uma informação do tubo sobreposto.

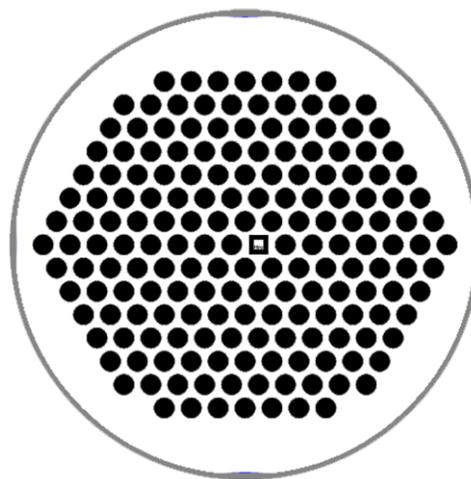


Figura 13. Esquema da disposição de um marcador sobre o trocador. Há um marcador reconhecível pelo *ARToolKit* no centro da malha de tubos sobrepondo um tubo que será como referência para visualização da RA.

Vale ressaltar que a inserção de um marcador sob somente um ou mais tubos da malha não compromete a inspeção do equipamento. É esperado do técnico que ele já tenha feito a verificação deste antes de adicionar o marcador e então partir para os outros. A Figura 13 mostra um esquema de disposição do marcador sobre o desenho.

4) *Edição dos dados dos tubos no sistema de RA*: Quando as projeções estiverem sendo exibidas no vídeo sobre o trocador é possível interagir com estas tocando-as e modificando os dados dos tubos. O toque em um tubo altera o valor booleano que este possui indicando a presença de uma informação previamente selecionada.

A detecção do toque em tubo é feita através de algoritmo de *pick* com *raycasting* [19]. Ao capturar um toque na tela é obtida uma coordenada 2D de onde é disparado um raio para obter a projeção 3D do ponto no plano do desenho dos tubos. Com esse ponto projetado no plano é possível calcular a intersecção com a geometria do tubo e detectar qual foi tocado pelo usuário.

Encerrando a visualização com RA, a aplicação retorna para a tela de edição, como apresentado na Figura 11. Nesse estado continua como foi explicado anteriormente, pode ser salvo e submetido à base de dados do sistema.

V. CONCLUSÃO

No trabalho é apresentada a arquitetura do HTHM que é um sistema que auxilia a gestão de tubos de trocadores de calor. Dado a flexibilidade que este possui foi possível integrar também uma aplicação de realidade aumentada em dispositivos móveis. Percebemos assim que podemos criar novas interfaces para atividades no ramo industrial.

O protótipo desenvolvido mostrou-se suficientemente robusto e estável para auxiliar na inspeção e manutenção do equipamento no campo. Isso se deve ao fato de que os *smartphones* possuem o *hardware* cada vez mais poderoso.

Permitindo assim que aplicações RA possam ser executadas em tempo real de forma satisfatória.

Como trabalhos futuros podemos destacar a oportunidade de detectar a malha de tubos automaticamente sem o auxílio de cartões com marcadores do ARToolKit. Essa abordagem é encorajada devido a topologia dos tubos já ser conhecida e propriamente armazenada na aplicação desenvolvida. Então a experiência de realidade misturada possui maior imersão para o usuário, a partir do momento que ele elimina marcadores para obter as projeções virtuais.

Outra oportunidade que pode ser destacada é a identificação automática de determinados estados nos tubos por processamento de imagens. Alguns estados podem ser detectados com apenas inspeção visual. Dessa forma o tempo de inspeção de um equipamento pode ser cada vez mais reduzido.

REFERÊNCIAS

- [1] R. Azuma, "A survey of augmented reality," *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, vol. 6, pp. 355–385, 1997.
- [2] C. Kirner and R. Tori, "Introdução à realidade virtual, realidade misturada e hiper-realidade," in *Realidade Virtual: Conceitos, Tecnologia e Tendências*. C. Kirner; R. Tori. (eds.), vol. 1, 2004, pp. 3–20.
- [3] C. Kirner, E. R. Zorzal, and T. G. Kirner, "Case studies on the development of games using augmented reality," *IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics*, pp. 636– 1641, 2006.
- [4] C. Kirner and E. R. Zorzal, "Aplicações educacionais em ambientes colaborativos realidade aumentada," in *Simpósio Brasileiro de Informática na Educação*, Juiz de Fora, MG, Brasil, 2005, pp. 114–124.
- [5] D. van Krevelen and R. Poelman, "A survey of augmented reality technology, applications and limitations," *The International Journal of Virtual Reality*, vol. 9(2), pp. 1–20, 2010.
- [6] S. Henderson and S. Feiner, "Augmented reality for maintenance and repair (armar)." United States Air Force Research Lab, Technical Report AFRL-RH-WP-TR-2007-0112.
- [7] G. Klinker, D. Sticker, and D. Reiners, "Augmented reality for exterior construction applications," in *Augmented Reality and Wearable Computers*, Barfield W. and Claudell T. (eds.), Lawrence Erlbaum, 2001, pp. 397–427.
- [8] J. Martín-Gutierrez, "Generic user manual for maintenance of mountain bike brakes based on augmented reality," in *2011 Proceedings of the 28th ISARC*, Seoul, Korea, 2011, pp. 1401–1406.
- [9] R. Mukherjee, "Effectively design shell-and-tube heat exchangers," Engineers India Ltd., Chemical Engineering Progress - Fev 1998.
- [10] P. Milgram *et al.*, "Augmented reality: A class of displays on the reality-virtuality continuum," *Telemanipulator and Telepresence Technologies*, *SPIE*, vol. 2351, pp. 282–292, 1999.
- [11] L. Botega and P. E. Cruvinel, "Realidade virtual: Histórico, conceitos e dispositivos," *Aplicações de Realidade Virtual e Aumentada, IX Simpósio de Realidade Virtual e Aumentada, Livro do Pré-Simpósio*, pp. 8–30, May 2009.
- [12] R. Santin and C. Kirner, "Artoolkit: Conceitos e ferramenta de autoria colaborativa," in *Robson Siscoutto, Rosa Costa. (Org.). Realidade Virtual e Aumentada: Uma Abordagem Tecnológica. 1 ed.*, vol. 1, Porto Alegre, RS, Brasil, 2008, pp. 178–276.
- [13] Apple inc. [Online]. Available: <http://www.apple.com/>
- [14] Opengl. [Online]. Available: <http://www.opengl.org/>
- [15] Opengl es. [Online]. Available: <http://www.khronos.org/opengles/>
- [16] Microsoft asp.net. [Online]. Available: <http://msdn.microsoft.com/pt-br/asp.net/aa336522>
- [17] Microsoft silverlight. [Online]. Available: <http://www.microsoft.com/silverlight/>
- [18] Web services architecture. [Online]. Available: <http://www.w3.org/TR/2000/NOTE-SOAP-20000508/>.
- [19] M. Slater, A. Steed, and Y. Chrysanthou, *Computer Graphics and Virtual Environments : From Realism to Real-Time*. Addison-Wesley, 2001.