

ENSINO DE PROCESSOS DE SOLDAGEM POR MEIO DE REALIDADE AUMENTADA

TEACHING WELDING PROCESSES THROUGH AUGMENTED REALITY

Lucia Helena Guimarães Cardoso¹, José Roberto Pereira²

DOI: 10.37702/REE2236-0158.v41p506-514.2022

RESUMO

A aplicação da tecnologia eletrônica, por meio de simulação em realidade aumentada no processo de soldagem com eletrodo revestido, favorece a aceleração da aprendizagem na formação de técnicos, graduandos das áreas de engenharias, soldadores iniciantes, bem como no treinamento em situações específicas de profissionais experientes em soldagem. A realidade aumentada é uma tecnologia inovadora, cuja principal característica é preservar o ambiente real e inserir elementos para simulação de atividades. O simulador é composto por uma central de processamento no formato de uma máquina de solda para maior sensação de realismo, oferecendo comandos e opções de operação análogos aos reais, tochas para diversos processos de soldagens, peças de trabalho e capacete com duas microcâmeras de alta resolução para o reconhecimento dos códigos de realidade aumentada, bem como luzes de LED para manter constante a iluminação ambiente. O capacete possui ainda um display interno através do qual o aprendiz visualiza toda a simulação, permitindo que este solde exatamente como seria executado no processo real. O treinamento ocorre de forma segura, sem riscos, sem impactos ambientais e sem desperdícios de recursos.

Palavras-chave: simulador; solda; eletrodo revestido; tecnologia.

ABSTRACT

The application of electronic technology through augmented reality simulation of the coated electrode welding process, improves the learning time of the training process of technicians, engineering graduates, beginner welders, as well as training experienced professionals in specific situations in welding. Augmented reality is an innovative technology, whose main characteristic is to preserve the real environment and insert elements to simulate activities. The simulator consists of a processing center looking like a welding machine for a greater sense of realism, offering commands and operating options similar to real ones, torches for several welding processes, work pieces and a helmet with two high-resolution micro cameras for recognizing augmented reality codes, as well as LED lights to keep ambient lighting constant. The helmet also has an internal display through which the learner visualizes the entire simulation, allowing him or her to weld exactly as it would be performed in the real process. Training takes place safely, without risks, without environmental impacts and without wasting resources.

Keywords: simulator; welding; coated electrode; technology.

¹ Professora, D.Sc., Universidade Estácio de Sá – UNESA, cardoso.lucia@estacio.br

² Professor, Especialista, Centro de Instrução Almirante Graça Aranha – CIAGA, jroberto_rio@yahoo.com.br

INTRODUÇÃO

O rápido desenvolvimento da eletrônica tem contribuído para significativos avanços tecnológicos, com grande influência nas mais diversas áreas, desde o cotidiano das pessoas comuns até sistemas de alta complexidade e uso restrito. Esse avanço, muitas vezes, tem causado mudanças de paradigmas em procedimentos que, por décadas, vinham sendo executados sem grandes mudanças ou inovações. Um caso particular, de suma importância, ocorre na área de treinamento, capacitação e avaliação de profissionais, em que diversos recursos tecnológicos vêm sendo cada vez mais utilizados para melhorar o desempenho do sistema de ensino-aprendizagem.

No que se refere especificamente a simuladores aplicados ao treinamento e capacitação, que é o foco deste trabalho, tem-se historicamente, e quase exclusivamente, a utilização de simuladores de voo no treinamento e na avaliação de pilotos de aeronaves, sendo usados de forma pioneira e bem-sucedida há muitos anos.

Mais recentemente, o desenvolvimento dos sistemas baseados em Realidade Virtual (RV) e Realidade Aumentada (RA) permitiram a expansão da sua aplicação em diversos outros segmentos, face às inúmeras vantagens que apresentam. A diferença entre as duas tecnologias é que enquanto a primeira cria um ambiente 100% virtual, a segunda adiciona conteúdo ao mundo real. No caso específico da Escola Técnica do Arsenal de Marinha (ETAM), foi decidida a implantação de um simulador baseado em RA no treinamento, capacitação e avaliação de profissionais da área de soldagem. Essa tecnologia promove a total interação entre o treinando e o objeto, permitindo que o aprendiz desenvolva plenamente a sua coordenação motora, memória muscular e as habilidades necessárias para a execução das tarefas.

A escolha da área de soldagem se baseou no fato de a instituição formar, em grande parte, mão de obra especializada para o Arsenal de Marinha, que é um Estaleiro Naval, no qual a atividade de soldagem tem importância

prioritária, tanto no aspecto quantitativo quanto no qualitativo. Afinal, é lá que são construídos e reparados navios e submarinos, equipamentos militares que são submetidos a regimes de trabalho extremos e, ao mesmo tempo, requerem altíssima confiabilidade.

Por muitos anos, os profissionais dessa área foram treinados de forma convencional, utilizando máquinas de solda, eletrodos, chapas metálicas, EPIs, o que demandava um alto custo em materiais consumíveis e energia elétrica, além da poluição atmosférica inerente à atividade e o risco de acidentes.

A implantação do simulador de solda *Soldamatic*, mostrado na Figura 1, fabricado pela empresa *Seabery Soluciones*, da Espanha, permitiu um ganho significativo de custo e qualidade, uma vez que apresenta as seguintes vantagens em relação ao método convencional:

- redução do risco de acidentes;
- economia de energia;
- redução no custo de consumíveis e gases;
- não gera qualquer tipo de resíduos;
- possibilidade de treinamento de diversos processos de soldagem em um mesmo ambiente;
- atividade realizada em um ambiente mais controlado e salubre;
- avaliação precisa e abrangente do desempenho do treinando;
- relatório detalhado da soldagem com notas individuais para cada habilidade analisada;
- possibilidade de *replay* para fornecer *feedback* ao treinando; e
- permite salvar cada tarefa do treinando possibilitando acompanhar a sua evolução.

Figura 1 – Simulador de solda *Soldamatic*



Fonte: Amende (2017).

Atualmente, existe uma alta demanda por soldadores em diferentes áreas de atuação, tais como: estaleiros, montagem e manutenção de equipamentos industriais, concessionárias, engenharias e afins, porém a escassa disponibilidade de soldadores qualificados exige que o treinamento oferecido na formação e/ou capacitação desses profissionais aconteça de forma rápida e competente. Assim, a simulação da física na solda em um ambiente controlado e seguro, bem como a medição precisa dos movimentos das mãos, traz memória muscular, dinamismo e eficiência na formação de operadores de soldagem. No caso específico deste trabalho, foi criado um procedimento em que os parâmetros programados no simulador foram utilizados em solda real com o objetivo de comparar visualmente os resultados. O processo de soldagem escolhido foi o de eletrodo revestido, por ser um processo amplamente utilizado, uma vez que possui maior flexibilidade de aplicação quando comparado com outros processos de soldagem, sendo relativamente fácil, rápido e confiável (GEARY; MILLER, 2013). Sendo assim, este trabalho destina-se a demonstrar a eficiência da utilização de um equipamento eletrônico de realidade aumentada, o simulador de solda, para dinamizar o treinamento do processo de soldagem com eletrodo revestido, visando a capacitação de iniciantes e especialistas da área.

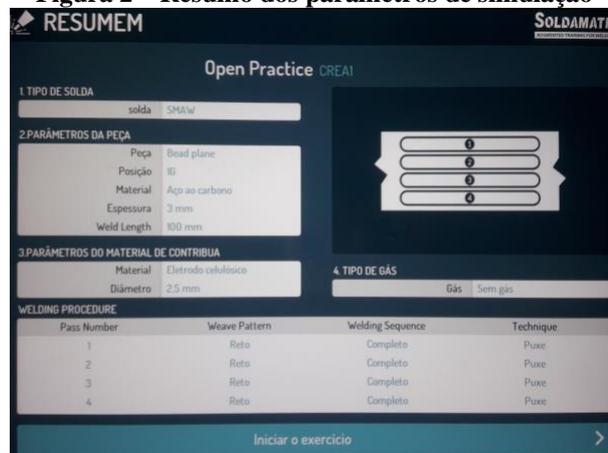
MATERIAIS E MÉTODOS

Neste trabalho, foi realizada a simulação de cordões de solda (*bead plane*) na posição 1G, em uma chapa de aço carbono com espessura de 3 mm, com eletrodo revestido (*SMAW*). O eletrodo utilizado foi de composição celulósica ($C_6H_{10}O_5$) com 2,5 mm de diâmetro. Os cordões foram elaborados com comprimento de 100 mm, realizando 4 passes paralelos em sequência completa de soldagem. A corrente aplicada foi de 95 A com polaridade inversa. Um resumo dos parâmetros inseridos no simulador antes do início do exercício pode ser verificado na Figura 2.

A simulação foi realizada nas dependências da ETAM, localizada na Ilha das Cobras. Os mesmos parâmetros inseridos no

simulador foram utilizados na Oficina de Soldagem do Arsenal de Marinha (AMRJ – 241), para a realização de uma solda real com processo de eletrodo revestido. A Figura 3 mostra a peça real e a peça simulada para comparação visual.

Figura 2 – Resumo dos parâmetros de simulação

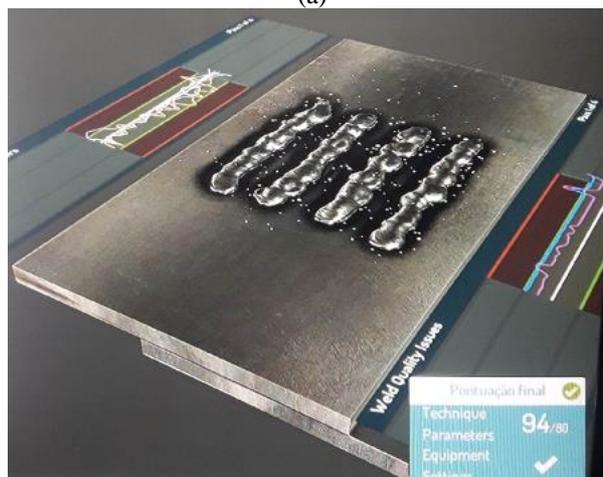


Fonte: acervo dos autores (2021).

Figura 3 – Peças com quatro cordões de solda: (a) Real e (b) Simulada



(a)



(b)

Fonte: acervo dos autores (2021).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise da simulação é realizada a partir de sinais ópticos indicativos das posições consideradas ideais do eletrodo em relação à peça de trabalho. Esses sinais são mostrados no *display* do equipamento durante a execução do

treinamento para o nível iniciante, a fim de que o operador adquira a memória muscular do processo. Enquanto os sinais ópticos estão verdes, o operador está na posição adequada, porém, se estes estiverem vermelhos, a posição deverá ser corrigida. A Figura 4 mostra os referidos sinais ópticos.

Figura 4 – Sinais ópticos indicativos da posição do eletrodo em relação à peça de trabalho



Fonte: acervo dos autores (2021).

Ao final do treinamento, o simulador exibe um relatório detalhado da soldagem com notas individuais para as principais habilidades analisadas, sendo discriminados os seguintes parâmetros técnicos:

- ângulo de trabalho: ângulo que o eletrodo faz com um eixo de referência perpendicular à superfície da peça de trabalho, passando pelo centro do chanfro, posicionado em um plano perpendicular ao eixo da solda;
- ângulo de ataque ou ângulo de deslocamento: ângulo formado entre o eixo do eletrodo e uma linha de referência perpendicular ao eixo da solda, localizada em um plano definido pelo eixo do eletrodo e o eixo da solda;
- longitude do arco: distância do eletrodo à peça de trabalho; e
- velocidade de deslocamento.

Além dos parâmetros técnicos descritos acima, a análise informa ainda os parâmetros relacionados à qualidade da solda, sendo eles:

- porosidade;

- respingo; e
- contaminação.

A porosidade e o respingo se relacionam com a longitude do arco e a magnitude da corrente aplicada (SANTOS, 2015). Quanto maior a longitude e/ou a corrente aplicada, mais respingo e porosidade são gerados na peça de trabalho. A porosidade está também diretamente relacionada com a velocidade de deposição da solda. Já a contaminação pode acontecer quando o eletrodo toca na peça de trabalho (MODENESI; MARQUES; SANTOS, 2015). O equipamento considera o operador apto ao processo quando a pontuação final, calculado como uma média aritmética do percentual de acertos de todos os parâmetros, é igual ou superior a 80, como mostrado na Figura 3 (b).

A Figura 5 mostra a simulação de 4 passes paralelos dos cordões de solda. O relatório gerado ao final do processo apresenta os gráficos dos parâmetros técnicos mencionados anteriormente para cada um dos 4 passes individualmente.

Figura 5 – Simulação de 4 passes paralelos dos cordões de solda



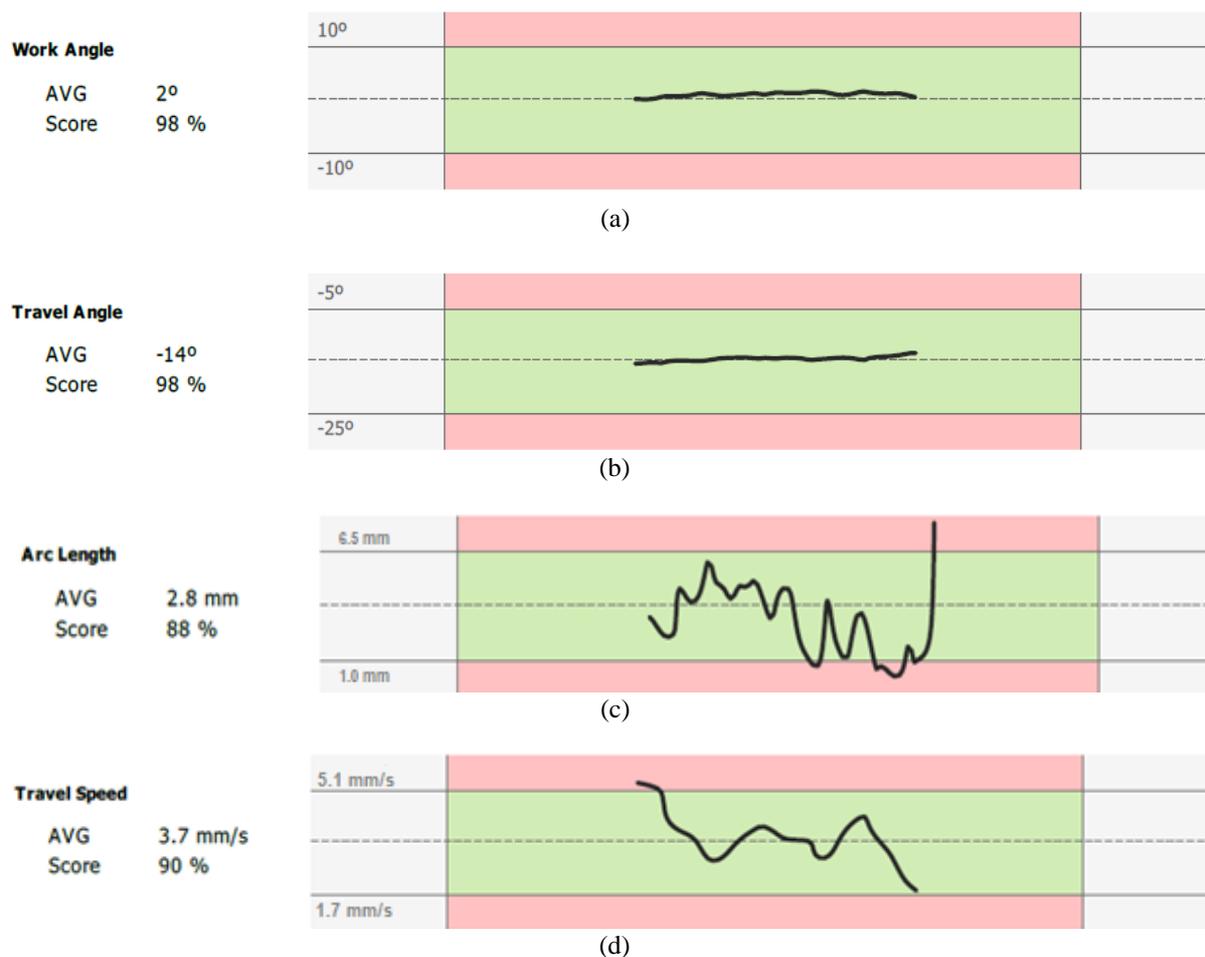
Fonte: acervo dos autores (2021).

Para exemplificar a análise exibida no relatório, a Figura 6 mostra os gráficos dos parâmetros técnicos relativos ao segundo passe do cordão exposto na Figura 5. Cada gráfico mostra como padrão uma linha tracejada indicativa do valor ideal considerado pelo

equipamento e os limites superior e inferior, indicando a tolerância permitida do parâmetro em questão; estes limites diminuem de acordo com o aumento do nível de dificuldade do treinamento.

Figura 6 – Parâmetros técnicos do 2º passe dos cordões mostrados na Figura 5:

(a) Ângulo de trabalho; (b) Ângulo de ataque; (c) Longitude do arco e (d) Velocidade de deslocamento



Fonte: acervo dos autores (2021).

Na Figura 6 (a), o ângulo de trabalho ideal é indicado pela linha tracejada, permitindo uma margem de tolerância que vai de 10° a -10° . O operador fez uma média de 2° em toda a progressão do cordão, sendo atribuído 98% de acerto nesse parâmetro. Já a figura 6 (b) mostra que a média realizada no ângulo de ataque pelo executor da tarefa ficou em torno de -14° , um acerto também de 98%, uma vez que a tolerância do equipamento para esse parâmetro está entre -5° e -25° .

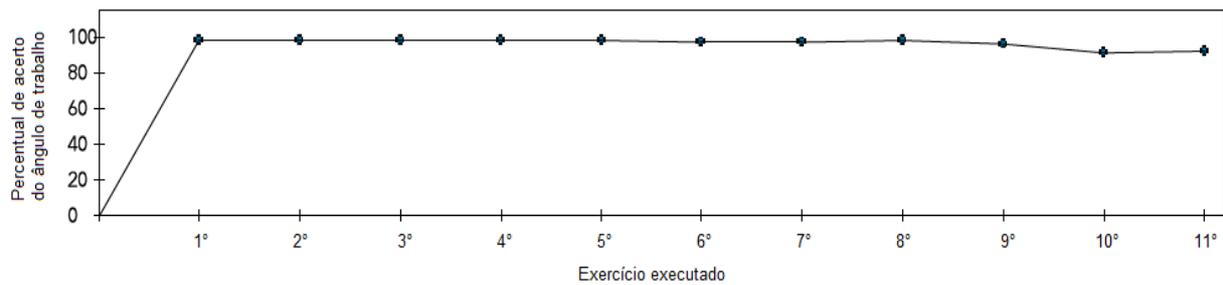
A Figura 6 (c) exibe a longitude do arco. Este parâmetro é extremamente difícil de ser mantido constante, pois, nesse processo de soldagem, o eletrodo está sendo gradualmente consumido, o que exige uma grande habilidade do operador (STEWART, 2008). O resultado apresentado, porém, foi satisfatório, pois houve

88% de acerto dentro da tolerância esperada para esse parâmetro. O mesmo acontece na velocidade de deslocamento mostrada na Figura 6 (d). O executor da tarefa obteve 90% de acerto, mantendo uma média de velocidade de $3,7 \text{ mm/s}$, totalmente dentro da tolerância esperada que está entre $5,1$ e $1,7 \text{ mm/s}$. Todas as tolerâncias mencionadas se referem ao nível iniciante.

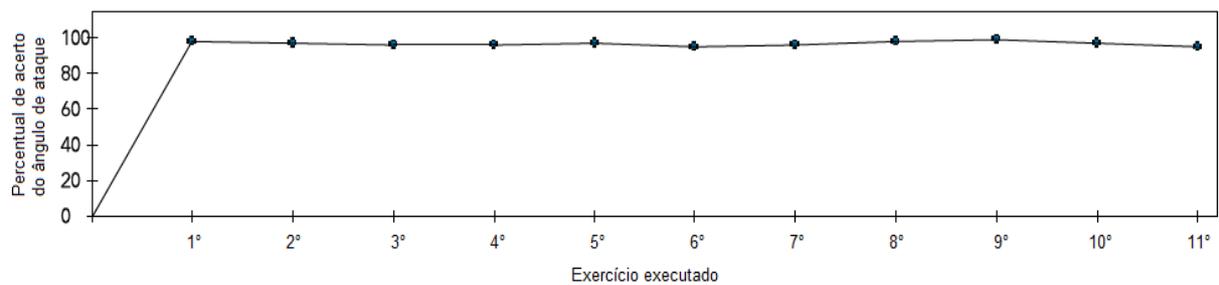
Para gerar uma média percentual de acertos de cada parâmetro técnico, foi realizado um conjunto de 11 exercícios com os parâmetros descritos anteriormente. A figura a seguir mostra os gráficos da média percentual de acertos dos parâmetros técnicos analisados pelo simulador.

Figura 7 – Média percentual de acertos dos parâmetros técnicos de cada exercício:

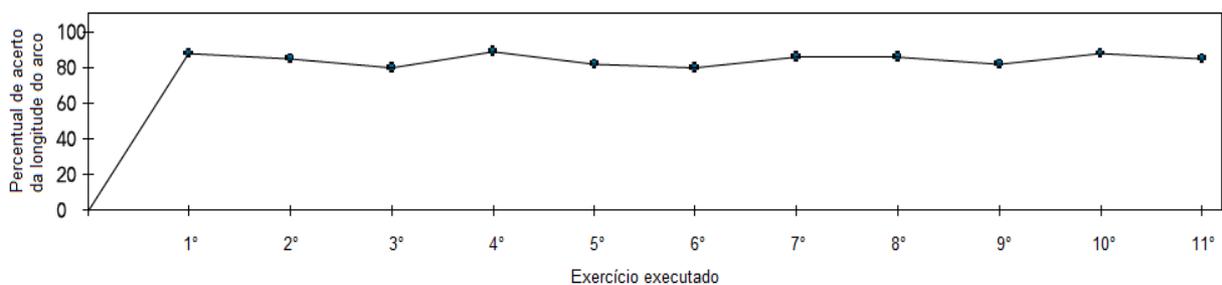
(a) Ângulo de trabalho; (b) Ângulo de ataque; (c) Longitude do arco e (d) Velocidade de deslocamento



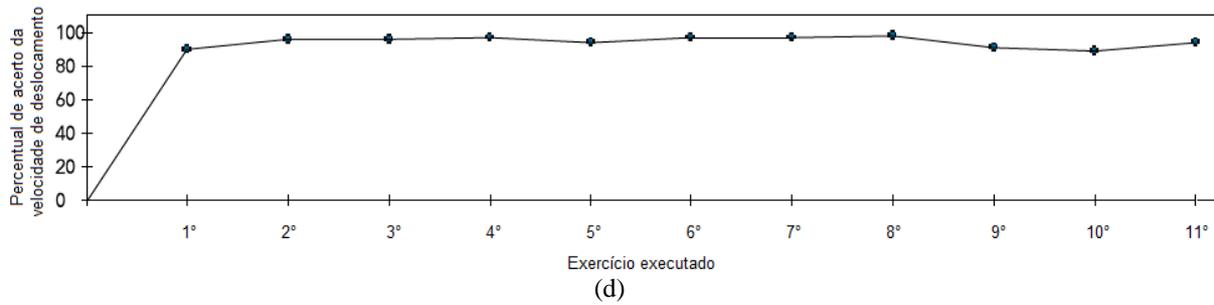
(a)



(b)



(c)

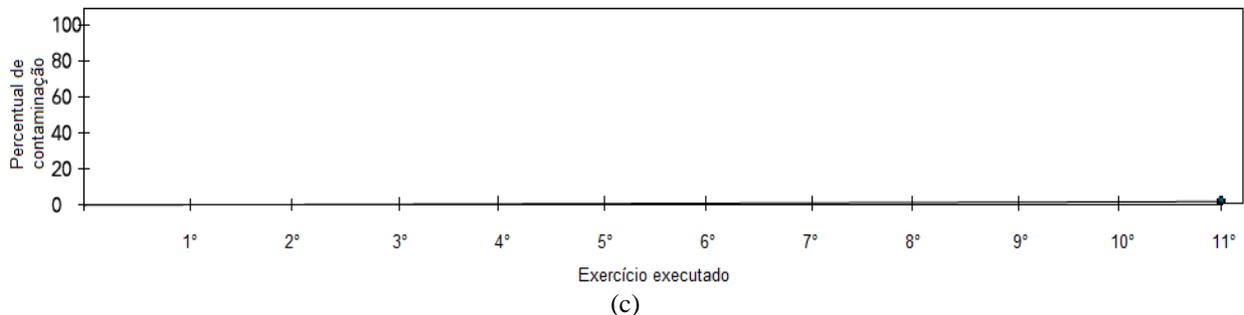
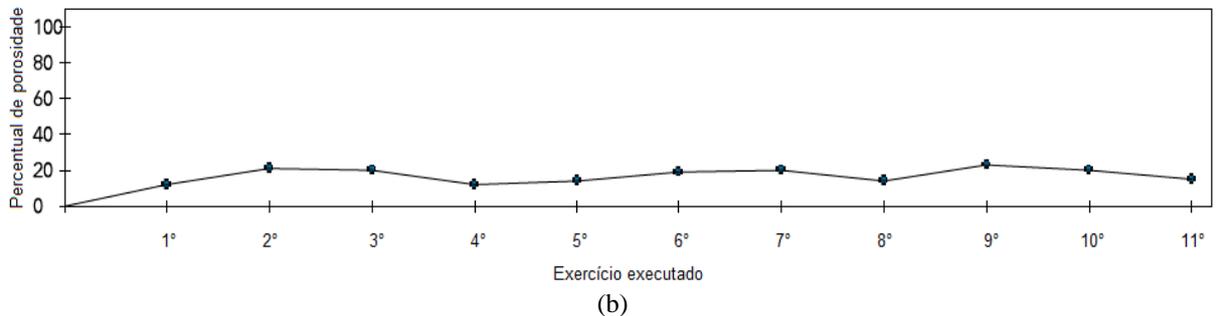
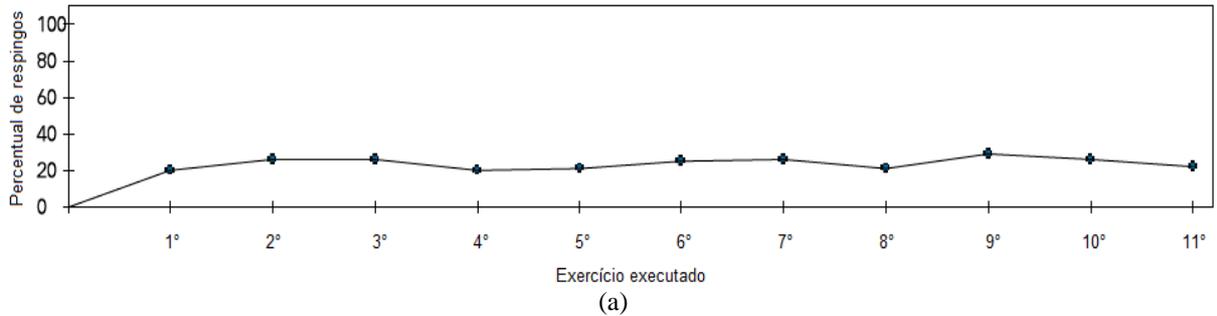


Fonte: acervo dos autores (2021).

Observando as Figuras 7 (a), 7 (b) e 7 (d), nota-se que o percentual de acerto do operador que executou o conjunto de exercícios ficou acima de 90%, enquanto na Figura 7 (c) o percentual de acerto para a longitude do arco

ficou acima de 80%. Já a Figura 8 apresenta os gráficos da média percentual de defeitos inseridos nos cordões durante o processo de simulação.

Figura 8 – Média percentual de defeitos em cada exercício:
(a) Respingos; (b) Porosidade e (c) Contaminação



Fonte: acervo dos autores (2021).

A Figura 8 (a) mostra que a média percentual de respingo ficou ligeiramente acima de 20%, enquanto a média percentual de porosidade ficou abaixo de 20%, como pode ser observado na Figura 8 (b). Já a Figura 8 (c)

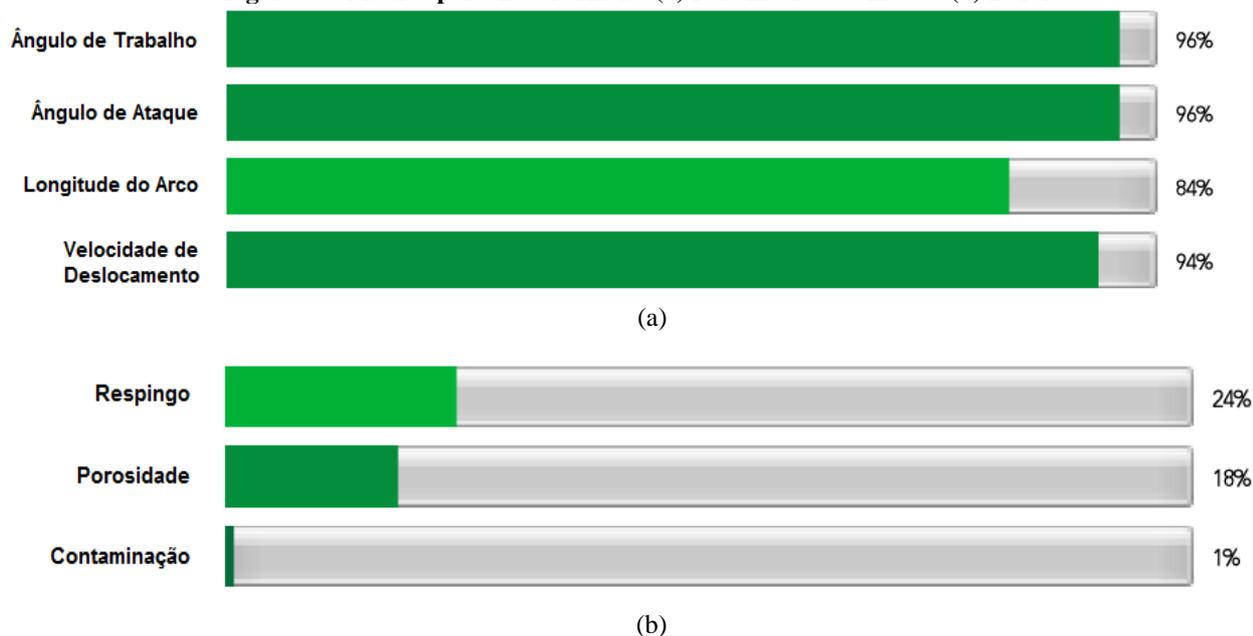
mostra que houve um mínimo de contaminação na solda realizada.

A Figura 9 exhibe as médias percentuais finais dos parâmetros técnicos e da inserção de defeitos nas simulações. O resultado mostra que

o treinamento foi satisfatório e o operador está apto a passar para o próximo nível de treinamento, uma vez que o equipamento considera adequados os acertos percentuais dos parâmetros técnicos acima de 80%. Ao aumentar o nível de dificuldade do treinamento, os sinais ópticos ficam inexistentes, pois é

considerado que o operador adquiriu a memória muscular da correta posição do eletrodo, e a faixa de tolerância de cada parâmetro diminui, pois o executor terá desenvolvido uma maior habilidade para controle de cada parâmetro.

Figura 9 – Médias percentuais finais: (a) Parâmetros técnicos e (b) Defeitos



Fonte: acervo dos autores (2021).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O simulador de solda é um equipamento eletrônico em realidade aumentada que torna o ensino e a capacitação de diversos processos de solda mais atraentes, com aulas práticas dinâmicas, interativas e produtivas tanto para iniciantes quanto para especialistas da área, uma vez que o simulador é ajustável individualmente. Inclusive, pode-se levar em consideração se o operador é destro ou canhoto, o que permite a possibilidade de concluir unidades de treinamento com maior facilidade. Há o intuito de aprender e melhorar seus conhecimentos de soldagem de maneira eficiente, sem riscos, conservando recursos e, conseqüentemente, reduzindo custos com energia elétrica, corpos de prova e consumíveis durante os treinamentos.

O equipamento realiza o registro de dados e a gravação de todas as soldagens permitindo o aprendiz rever sua soldagem individual, com a finalidade de analisar erros e documentar os

avanços de aprendizagem. O módulo de análise e o *software* do professor permitem ao instrutor de solda avaliar as atividades simuladas pelos alunos individualmente, bem como a evolução de cada aluno passando por todos os níveis de treinamento, tornando-os aptos posteriormente a executarem soldas reais sem dificuldades.

AGRADECIMENTOS

À Escola Técnica do Arsenal de Marinha (ETAM) que disponibilizou suas dependências e o simulador de soldagem para o desenvolvimento desse trabalho.

Ao Arsenal de Marinha do Rio de Janeiro que disponibilizou a oficina de soldagem (AMRJ – 241) para a realização da solda real em eletrodo revestido.

Ao instrutor Jairo Ferreira Lima por tornar possível a realização deste trabalho contribuindo com o seu vasto conhecimento e experiência na área.

REFERÊNCIAS

AMENDE. **Soldamatic Manual do Proprietário**. Seabery Soluciones, 2017.

GEARY, D.; MILLER, R. **Soldagem**. 2ª Edição. Porto Alegre: Bookman, 2013

SANTOS, C. E. F. dos. **Processos de soldagem: conceitos, equipamentos e normas de segurança**. São Paulo: Érica, 2015.

MODENESI, P. J.; MARQUES, P. V.; SANTOS, D. B. **Introdução à Metalurgia da Soldagem**. UFMG: Belo Horizonte, 2012.

STEWART, J. P. **Manual do Soldador e Ajustador**. [S.1.]: Hemus, 2008.

DADOS BIOGRÁFICOS DOS AUTORES



Lucia Helena Guimarães Cardoso – Graduada em Física pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro (2006), mestre em Ciência dos Materiais pelo Instituto Militar de Engenharia (2008), doutora em Ciência dos Materiais pelo Instituto Militar de Engenharia (2011). Atualmente é docente de graduação e pós-graduação da Universidade Estácio de Sá e na Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro/CTUR. Em pesquisa, tem experiência na área de dinâmica e estática das estruturas, bem como em nanomateriais. Atuou na Escola Técnica do Arsenal de Marinha (2012-2020), contribuindo na formação de técnicos e no treinamento dos cursos para operadores de solda por meio de simulador dos processos de soldagem em eletrodo revestido e TIG (Tungsten Inert Gas).



José Roberto Pereira – Graduado em Engenharia Eletrônica pela Escola Técnica Federal Celso Suckow da Fonseca, atual CEFET – RJ (1974), MBA em Gestão Empresarial pelo CEFET – RJ (2001), Licenciatura Plena em Física pela UCAM (2006), Pós-graduado em Gestão de Projetos pela UCAM (2009). Ganhador do Prêmio Liceu de Tecnologia de 1980 e do Prêmio CREA de 2017. Atualmente é docente na Escola de Formação de Oficiais da Marinha Mercante (EFOMM) do CIAGA (Centro de Instrução Almirante Graça Aranha). Atuou como docente na Escola Técnica do Arsenal de Marinha (2010-2020), lecionando nos cursos técnicos de Eletrônica, Eletrotécnica, Mecânica e Estruturas Navais, e em cursos de especialização em Automação e Refrigeração. Possui mais de 40 anos de experiência na área industrial, tendo gerenciado departamentos de Engenharia, Projetos, Manutenção e Telecomunicações em diversas empresas de grande porte, nacionais e multinacionais.