



Universidade Federal de Ouro Preto
Escola de Minas
CECAU - Colegiado do Curso de
Engenharia de Controle e Automação



Letícia Aparecida de Figueiredo

**Desenvolvimento de uma Interface Homem-Máquina (IHM) Industrial
de Alta Performance Baseada no Estudo da Norma ISA-101 Aplicada
a Processos de Mineração**

Monografia de Graduação

Ouro Preto, 2024

Letícia Aparecida de Figueiredo

**Desenvolvimento de uma Interface Homem-Máquina
(IHM) Industrial de Alta Performance Baseada no Estudo
da Norma ISA-101 Aplicada a Processos de Mineração**

Trabalho apresentado ao Colegiado do Curso de Engenharia de Controle e Automação da Universidade Federal de Ouro Preto como parte dos requisitos para a obtenção do Grau de Engenharia de Controle e Automação.

Universidade Federal de Ouro Preto

Orientador: Prof. Agnaldo José da Rocha Reis

Ouro Preto

2024



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
REITORIA
ESCOLA DE MINAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CONTROLE E
AUTOMACAO



FOLHA DE APROVAÇÃO

Letícia Aparecida de Figueiredo

Desenvolvimento de uma Interface Homem-Máquina (IHM) Industrial de Alta Performance Baseada no Estudo da Norma ISA-101 Aplicada a Processos de Mineração

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia de Controle e Automação da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Engenheira de Controle e Automação

Aprovada em 10 de outubro de 2024

Membros da banca

Doutor - Agnaldo José da Rocha Reis - Orientador (Universidade Federal de Ouro Preto)

Doutora - Sílvia Grasiella Moreira Almeida (Instituto Federal de Minas Gerais - Campus Ouro Preto)

Doutora - Adrielle de Carvalho Santana (Universidade Federal de Ouro Preto)

Agnaldo José da Rocha Reis, orientador do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 15/10/2024



Documento assinado eletronicamente por **Agnaldo Jose da Rocha Reis, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 15/10/2024, às 12:32, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0795439** e o código CRC **BE98E4DA**.

*Dedico este trabalho a todas as
meninas que sonham com um
mundo melhor e para todas as
mulheres que participaram da
minha formação. Ubuntu!*

Resumo

Processos automatizados são cada vez mais comuns em indústrias ao redor do mundo e são muito difundidos no setor de mineração. Junto a isso, aumenta-se a necessidade de controle e monitoramento em busca de eficiência, produtividade e segurança das operações. As Interfaces Homem-Máquina (IHMs) são ferramentas essenciais nesses sistemas pois permitem a operação remota e uma rápida tomada de decisão a partir da aquisição de dados de uma planta industrial. Com base na revisão da literatura, explora-se neste estudo como o alto desempenho pode fortalecer a robustez e a segurança das IHMs. Além disso, são apresentados exemplos de boas práticas aplicadas a uma IHM real em um processo. Assim, de forma mais específica, apresenta-se neste trabalho um estudo das normas relacionadas ao desenvolvimento de IHMs de alto desempenho a partir da aplicação de boas práticas indicadas por normas internacionalmente reconhecidas, como a ISA-101. As diretrizes definidas ao longo do estudo foram aplicadas na reestruturação de uma IHM usada no processo de britagem de uma mina da Vale S.A., documentadas no decorrer do trabalho. Os resultados obtidos demonstram que é possível elevar a qualidade das IHMs utilizando padrões baseados em normas de grande relevância, como a ISA-101. Além de atender às necessidades do cliente, essa abordagem contribui para a redução do retrabalho em processos de manutenção e mitigação dos riscos associados ao processo, assegurando maior eficiência e segurança no controle e monitoramento de sistemas.

Palavras-chaves: IHM. Interface. Padronização; ISA-101. Sistemas de supervisão. Monitoramento. Automação Industrial.

Abstract

Automated processes are becoming increasingly prevalent across various industries, particularly in the mining sector. This trend amplifies the demand for effective control and monitoring systems, which are essential for achieving greater efficiency, productivity, and operational safety. Human-Machine Interfaces (HMIs) play a crucial role in these systems, facilitating remote operation and enabling rapid decision-making by providing real-time data from industrial plants. This study, grounded in a thorough literature review, examines how enhancing the performance of HMIs can improve their robustness and security. Furthermore, it presents real world examples of best practices applied to an HMI in an operational process. More specifically, the research focuses on the application of internationally recognized standards, such as ISA-101, which provide best practices for the development of high-performance HMIs. The guidelines derived from these standards were applied to redesign an HMI used in the crushing process at a Vale S.A. mine, and this implementation is meticulously documented throughout the work. The findings demonstrate that it is possible to significantly improve HMI quality by adhering to standards like ISA-101. This approach not only meets client requirements but also reduces rework in maintenance processes and mitigates risks, ultimately enhancing efficiency and safety in system monitoring and control.

Key-words: HMI. Interface. Standard; ISA-101. Supervisory Control. Data Acquisition system. Monitoring. Industrial Automation.

Lista de ilustrações

Figura 1 – IHM Industrial	8
Figura 2 – Parede de Comando	12
Figura 3 – Sistema de Supervisão do Laboratório de Interface Homem-Sistema da Comissão Nacional de Engenharia Nuclear	12
Figura 4 – Foto do acidente na BP Texas Refinery	13
Figura 5 – Ciclo de vida de uma IHM	15
Figura 6 – Cores indicadas para IHMs	17
Figura 7 – Exemplo de adequação da representação de bombas	18
Figura 8 – Exemplo de adequação da representação de temperaturas	18
Figura 9 – Cores indicadas para IHMs	19
Figura 10 – Exemplo de tela analisada contendo o fluxo geral do processo	21
Figura 11 – Fluxograma de britagem primária	22
Figura 12 – Lista de telas criadas	24
Figura 13 – Comparação de legibilidade entre fontes de texto	25
Figura 14 – Lista de objetos criados no kit de ferramentas	26
Figura 15 – <i>Script</i> desenvolvido em VBA para gerar lista de variáveis	27
Figura 16 – <i>Script</i> usado para carregamento de valores na tela	28
Figura 17 – Tela principal sendo desenvolvida no Vijeo Designer	29
Figura 18 – Simulação de execução da IHM	30
Figura 19 – Simulação de daltonismo	31
Figura 20 – Execução na IHM após <i>download</i>	32
Figura 21 – Novo modelo de tela de detalhes dos equipamentos	34

Sumário

1	INTRODUÇÃO	8
1.1	Justificativas e Relevância	9
1.1.1	Objetivos	10
1.1.2	Objetivos específicos	10
1.2	Organização e estrutura	10
2	REVISÃO DE LITERATURA	11
2.1	IHMs	11
2.2	Acidentes relacionados à IHMs de baixo desempenho	13
2.3	Normas e Diretrizes	13
2.4	Ciclo de vida de uma IHM	15
2.5	Diretrizes do <i>design</i> de IHMs	16
2.5.1	Cores	16
2.5.2	Exibição de informações	17
3	METODOLOGIA	20
3.1	Materiais	20
3.2	Estudo do problema	20
3.3	Estudo das normas	21
3.4	Desenvolvimento de telas	22
3.4.1	Definição de telas	22
3.4.2	Definição de itens de <i>layout</i>	23
3.4.3	Desenvolvimento de automações	25
3.4.3.1	Criação de variáveis	26
3.4.3.2	Automação para animação e atualização das telas	27
3.4.4	Montagem das telas	29
4	RESULTADOS	33
5	CONCLUSÃO	35
5.1	Sugestões de trabalhos futuros	35
	Referências	37

1 Introdução

O desenvolvimento tecnológico está presente cotidianamente dentro de indústrias do Brasil e do Mundo. A automação de processos possui uma participação expressiva nessa evolução, sendo responsável por proporcionar um aumento exponencial da produção, do controle e da segurança em diversas empresas.

Dentre outras aplicações, os sistemas automatizados são encontrados no chão de fábrica, onde controlam e monitoram equipamentos, máquinas e processos. Nesses ambientes, espera-se que os sistemas sejam bem controlados e robustos, visto que, em geral, o funcionamento é crítico e a falha ou indisponibilidade podem gerar prejuízos financeiros, riscos à vida e ao meio ambiente.

Uma das principais estratégias usadas para reduzir as vulnerabilidades mencionadas anteriormente é o uso de sistemas de supervisão, que são compostos por *softwares* capazes de apresentar a planta do processo de forma abrangente em uma interface gráfica. Essa interface gráfica, conhecida como Interface Homem-Máquina (IHM), ilustrada na Figura 1), fornece informações relevantes de forma integrada e visual para o operador em tempo real e possibilita a interação com o processo.

A IHM, é uma ferramenta muito usada para a interação e monitoramento de processos e equipamentos de modo remoto dentro das indústrias, podendo ser compostas, por exemplo, por telas, sejam elas interativas ou não, botões e *switches*. Além disso, quando instaladas em campo, as IHMs precisam ser robustas, capazes de resistir à umidade, à poeira, à vibrações e à variações de temperatura das quais estarão sujeitas no ambiente (VIEIRA, 2018).



Figura 1 – Exemplo de IHM industrial sendo operada em campo. Fonte: [Automation \(2024\)](#).

Contudo, a implementação de IHMs nem sempre propicia os melhores resultados que ela pode oferecer, como relata Morgan em um trecho de “*Industry 4.0 smart reconfigurable manufacturing machines*” (Máquinas de fabricação reconfiguráveis inteligentes da Indústria 4.0) (MORGAN et al., 2021)

(...)“as IHMs têm o poder de introduzir riscos e ineficiências em um sistema, com erros humanos e controles complexos. Por outro lado, as IHMs também têm o poder de reduzir o risco se projetadas e implementadas corretamente, com controles intuitivos e exibições perspicazes, para fornecer suporte e controle eficazes à decisão.”

Assim, com o intuito de aproveitar ao máximo as tecnologias oferecidas e reduzir os riscos pessoais e materiais associados às implementações inadequadas, busca-se implementar padrões e desenvolver estratégias para a construção de uma interface de alta performance, em outras palavras, de alto desempenho, ou seja, limpa, intuitiva, objetiva e ergonômica. Dentre as principais normas existentes, destaca-se a ISA-101, aprovada em 9 de Julho de 2015, com o objetivo de abranger todo o ciclo de vida das IHMs (ISA, 2016).

Diante do exposto, apresenta-se neste trabalho um projeto de padronização de IHMs realizado em uma unidade da Vale S.A., a partir da aplicação das diretrizes definidas na filosofia de interfaces e no guia de estilos da empresa. Além disso, são apresentados os conceitos relacionados às normas utilizadas nesses documentos e suas aplicações em uma IHM responsável por representar o processo de britagem localizado na mina de Fábrica Nova, em Mariana - MG.

1.1 Justificativas e Relevância

O cérebro humano é capaz de interpretar a leitura de informações em diversos tipos de interfaces, a partir de processos cognitivos. De acordo com diversos requisitos, como cores e tamanhos dos objetos apresentados, o esforço necessário pode ser considerado simples ou complexo.

Quando se trata de IHMs, é necessário realizar a construção dessas interfaces de forma metódica, buscando reduzir a dificuldade do operador, já que o monitoramento, em geral, é realizado por longos períodos de tempo, o que pode levá-lo ao cansaço e ao estresse.

Assim, a relevância deste trabalho se justifica na busca por melhores condições ergonômicas de operação, no intuito de reduzir o risco de falhas operacionais e o risco de acidentes, além de aumentar a eficiência do processo. Outro ponto relevante se dá pela padronização da criação de interfaces, que contribui diretamente na agilidade de seu desenvolvimento e na curva de aprendizagem do processo ao construir *layouts* mais consistentes.

1.1.1 Objetivos

Estudar a padronização de IHMs físicas e aplicar as diretrizes no desenvolvimento ágil de uma IHM que representa e controla o processo de britagem na mina de Fábrica Nova.

1.1.2 Objetivos específicos

- Compreender a importância de IHMs ergonômicas e padronizadas;
- Estabelecer um padrão de IHMs aplicável nos diferentes processos do complexo de Mariana, buscando reduzir a variedade de formatos existentes;
- Aumentar a qualidade das IHMs com base na padronização e na aplicação da norma ISA-101 (ISA, 2016);
- Reduzir o retrabalho nos processos de manutenção.

1.2 Organização e estrutura

Os demais capítulos do texto são organizados como se segue. A revisão bibliográfica é apresentada no capítulo 2, abordando uma visão geral e as motivações relativas ao tema, as normas relacionadas e um aprofundamento na norma ISA-101. A partir dela são definidos conceitos do ciclo de vida da IHM e alguns exemplos de uso. Já no capítulo 3 têm-se a metodologia, seguido dos resultados obtidos e suas análises no capítulo 4. Por fim, são assuntos do capítulo 5, a conclusão final e algumas sugestões de trabalhos futuros.

2 Revisão de literatura

A IHM é uma importante ferramenta de integração, centralização e exibição de dados, essencial para uma tomada de decisão rápida e eficaz. [Urbas, Obst e Stöss \(2012\)](#) descrevem-as como uma “janela para o processo”, capaz de torná-lo mais ágil, seguro, confiável e produtivo. O uso de Interfaces Homem Máquina pode ser um diferencial no aumento do desempenho operacional.

Para isso, é fundamental haver uma gestão bem planejada, que encontre o equilíbrio ideal entre uma interface intuitiva e a priorização das informações apresentadas de acordo com sua relevância. Este equilíbrio assegura que a interface seja simultaneamente simplificada e informativa, atendendo às necessidades de diversos usuários, como operadores, mantenedores, engenheiros, analistas e gestores. Nestas condições, a IHM contribui para uma operação mais eficiente e uma tomada de decisão mais ágil e assertiva, beneficiando todos os envolvidos no processo.

É importante ressaltar que o objetivo de uma IHM de alto desempenho não é impressionar os usuários com *layouts* extravagantes e repleto de detalhes ([ISA, 2016](#)), mas sim ser ergonômica e trazer as informações de forma simples e clara. Conforme ressalta [Rossete \(2015\)](#), a ergonomia deve focar no ser humano e em seu processo de trabalho para eliminar riscos, reduzir esforços e buscar conforto e eficiência do sistema.

2.1 IHMs

Em seu TCC, [Vieira \(2018\)](#) descreve a evolução das IHMs desde as construções analógicas, inicialmente conhecidas como paredes de comando, como ilustrada na Figura 2. Essas interfaces eram capazes de exibir o processo completo e transmitir informações cruciais a operadores bem treinados. No entanto, esse tipo de implementação enfrentou diversas limitações, como a dificuldade de manutenção, pouca flexibilidade, dificuldade de extrair dados e alarmes limitados, os quais eram impressos em tempo real ([VIEIRA, 2018](#)).

Após os anos 80, as IHMs digitais começaram a ser implementadas utilizando sistemas do tipo SCADA¹. Apesar disso, tornar as IHMs ferramentas de alto desempenho, seguras e confiáveis ainda é um desafio, uma vez que os usuários e desenvolvedores frequentemente se habitua a estilos inadequados, que não seguem padrões de boas práticas.

Ainda hoje são encontradas IHMs semelhantes a do Laboratório de Engenharia

¹ Controle Supervisório e Aquisição de Dados, usado para monitorar e armazenar dados além de atuar no processo.



Figura 2 – Parede de Controle. Fonte: Hollifield (2008)

Nuclear, apresentada na Figura 3. No entanto, com a apresentação e divulgação de estudos como a norma ISA 101, espera-se que os padrões ergonômicos sejam cada vez mais compreendidos, assim como a importância e a viabilidade desses padrões. Dessa forma, sua aplicação se tornará mais comum, promovendo ambientes de trabalho mais seguros e eficientes.

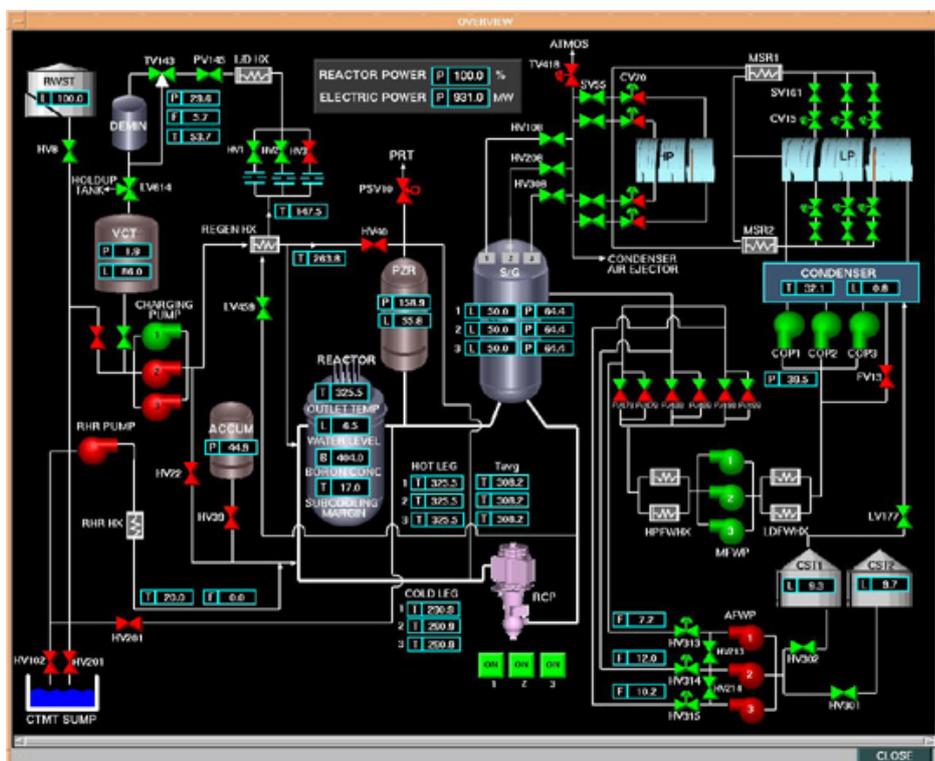


Figura 3 – Sistema de Supervisão do Laboratório de Interface Homem-Sistema da Comissão Nacional de Engenharia Nuclear. Fonte: Engenharia Nuclear (2017)

2.2 Acidentes relacionados à IHMs de baixo desempenho

Em [Duhaime e Geiger \(2019\)](#) são abordados possíveis problemas que podem induzir o operador de uma IHM ao erro. De acordo com eles

(...)um tipo de erro é baseado no conhecimento, que ocorre quando um operador não interpreta uma situação com precisão, seja por meio de treinamento inadequado, preconceitos, informações insuficientes ou sobrecarga de informações.(...)

Esse tipo de vulnerabilidade pode culminar em um acidente de grandes proporções, como é o caso do ocorrido em 2005 em uma refinaria do Texas, Estados Unidos. Durante a partida de uma unidade de isomerização² (ISOM), a torre de separação dos produtos de refino se encheu completamente, gerando uma explosão que culminou em um incêndio responsável pela morte de 15 pessoas e uma perda financeiras de 1,5 bilhão de dólares. A Figura 4 mostra os destroços da refinaria após o incêndio. Uma das principais causas foi associada à uma pane dos indicadores de nível e dos alarmes exibidos no sistema de supervisão que gerou uma falha de interpretação do contexto, impossibilitando uma ação incisiva dos operadores ([BOARD, 2007](#)).



Figura 4 – Acidente ocorrido na BP Texas Refinery, em 2005. Fonte: [Board \(2007\)](#).

2.3 Normas e Diretrizes

Buscando padronizar o desenvolvimento e garantir a segurança de IHMs, diversas normas foram desenvolvidas por instituições de relevância internacional. Dentre elas

² Processo de conversão de hidrocarbonetos de cadeia linear em hidrocarbonetos de cadeia ramificada com objetivo de um melhorar a qualidade da gasolina

destacam-se:

- NR 17: A NR é a Norma Regulamentadora brasileira que tem como objetivo orientar empresas e colaboradores em relação aos direitos e deveres buscando garantir conforto, segurança, saúde e desempenho eficiente do trabalhador. Em específico, a NR 17.1.1, recomenda diretrizes que permitam a adaptação das condições de trabalho às características psicofisiológicas dos trabalhadores, de modo a proporcionar conforto, segurança, saúde e desempenho eficiente no trabalho. Além disso, a NR 17.7.2 direciona a construção de interfaces com máquinas e equipamentos de modo que a interpretação seja clara e precisa. (SAFDARI; DARGAHI; SHAHMORADI, 2012)
- ISO 9241: A ISO 9241, foi desenvolvida pela *International Organization for Standardization* e é uma norma internacional responsável pela padronização da integração entre *hardware*, *software* e o ambiente. Sua aplicação baseia-se em sete princípios como adequação para a tarefa, controlabilidade, conformidade com as expectativas do usuário, tolerância a erros e adequação para aprendizado. Ela define que um questionário deve ser desenvolvido no intuito de avaliar ergonomia, os impactos à estrutura, à função e ao ambiente físico orientados para a sistemas de processamento de informações mostradas em terminais de monitores de vídeo (VDT³) (ARAGÃO, 2001).
- ISA: A ISA (*The International Society of Automation*) é uma associação profissional, originada nos Estados Unidos e de alcance internacional que estabelece normas para a automação e a tecnologia, no intuito de padronizar processos e equipamentos. Sua primeira norma tinha como objetivo padronizar a simbologia usada na instrumentação industrial e hoje possui mais de 160 documentos publicados (PAIOLA; ROCHA; RODRIGUES, 2019). Dentre elas destacam-se a norma ISA-101, responsável por criar diretrizes para todo o ciclo de vida de uma IHM, desde o seu desenvolvimento, projeto, instalação até o seu gerenciamento. A criação dessa norma pautou-se na verificação de falhas operacionais e acidentes que ocorreram em diversas indústrias ao longo do tempo devido à dificuldade de visualização de informações importantes ou demora para o entendimento das mesmas.

Analisando a recorrência de acidentes associados à má visualização e má gestão de dados, a ISA reuniu o comitê, desenvolveu e aprovou em 2015 a norma ISA-101 (ISA, 2016). Esta norma propôs-se a definir o ciclo de vida de uma IHM, no qual são abordadas fases como desenvolvimento de conceitos, *design*, implementação, treinamentos e operação do sistema além de um trabalho contínuo de auditoria, validação e gerenciamento de mudanças, como é apresentado na seção a seguir.

³ Video Display Terminal

2.4 Ciclo de vida de uma IHM

O ciclo de vida de uma IHM, segundo a ISA-101, visa garantir a eficiência e a qualidade da interação entre o usuário e o sistema a partir de 4 etapas fundamentais: padrões do sistema, fase de projeto, implementação e operação, apresentados na Figura 5.



Figura 5 – Ciclo de vida de uma IHM. Fonte: Adaptado de ISA (2016).

O objetivo, a função, as ferramentas e o conteúdo de cada uma das etapas pode ser identificado a seguir:

- Padrões do sistema:

A primeira etapa do ciclo de vida das IHMs consiste em criar diretrizes para o padrão do sistema, distribuídos entre a filosofia de interfaces, o guia de estilos e o kit de ferramentas. A filosofia de interfaces tem o objetivo de definir os conceitos fundamentais, buscando complementar as orientações da ISA-101 com as particularidades de cada empresa, independente do *hardware* e da plataforma de *software* dos fornecedores que serão utilizados. Em seguida, os conceitos definidos na filosofia são aplicados no guia de estilos a partir de exemplos práticos, enquanto o kit de ferramentas é composto por objetos gráficos a serem usados nas telas e que são definidos especificamente dentro do *software* selecionado (ISA, 2016).

- Projeto:

Já na etapa de projeto são realizadas algumas análises de requisitos de acordo com a planta que será representada e os tipos de usuários de acordo com o objetivo

de cada um deles. Com os resultados dessas ponderações, juntamente às considerações estabelecidas na etapa anterior do ciclo, o *layout* das telas é projetado. Além disso, é nessa etapa em que são definidos o *hardware*, o *software* e as definições de comunicação da nova IHM.

- Implementação:

A fase de implementação, por sua vez, se trata da implementação das telas e construção da parte física. Nesta etapa também são realizados os testes e treinamentos, preparando a IHM para entrar em fase de operação.

- Operação:

Por fim, a fase de operação consiste no funcionamento e uso da IHM, considerando as devidas manutenções, atualizações e melhorias contínuas até o momento do descomissionamento, quando a IHM é retirada de serviço e armazenada até ter os registros obtidos durante seu período de serviço arquivados (ISA, 2016).

As etapas de gerenciamento de mudanças, auditoria e validação são responsáveis pelos processos de melhorias, onde são realizadas análise de riscos e possíveis impactos. Elas são contínuas e podem ser realizadas durante qualquer momento do ciclo de vida de IHMs, podendo ser periódicos ou partir de alguma observação dos usuários, mantenedores ou até mesmo como consequência de alguma mudança no processo.

2.5 Diretrizes do *design* de IHMs

A norma ISA-101 sugere alguns modelos de *layout*, estipulando padrões de cores, formas, fontes, tamanhos de objetos e modelo da exibição de valores, por exemplo. Essas definições podem ser adaptadas de acordo com cada projeto. Porém devem ser estudadas para avaliar os requisitos ergonômicos e devem estar documentadas no guia de estilos definido previamente. A seguir, têm-se algumas orientações.

2.5.1 Cores

As cores de uma IHM têm papel fundamental para garantir conforto ao usuário, sem causar esforço excessivo durante o trabalho, e ainda favorecer o foco no processo apresentado. Assim, o ideal é que seja definida uma paleta de cores que contenha elementos em contraste e que sejam fáceis de distinguir entre si.

Ao selecionar as cores para criar esse contraste, é essencial considerar o impacto que elas podem ter em pessoas com daltonismo, um distúrbio visual que altera a percepção das cores. Esse cuidado é importante para evitar interpretações equivocadas do conteúdo, garantindo que a interface seja acessível e compreensível a todos os usuários.

Para o fundo das telas recomenda-se o uso do azul claro, capaz de transmitir tranquilidade e atenção com menor esforço. Os tons de azul mais escuro e o preto, por exemplo, são ideais para apresentação de textos estáticos. Já os tons vibrantes, como é o caso das cores de ênfase mostradas na Figura 6, são ideais para chamar a atenção para condições anormais no processo, como é o caso dos alarmes.

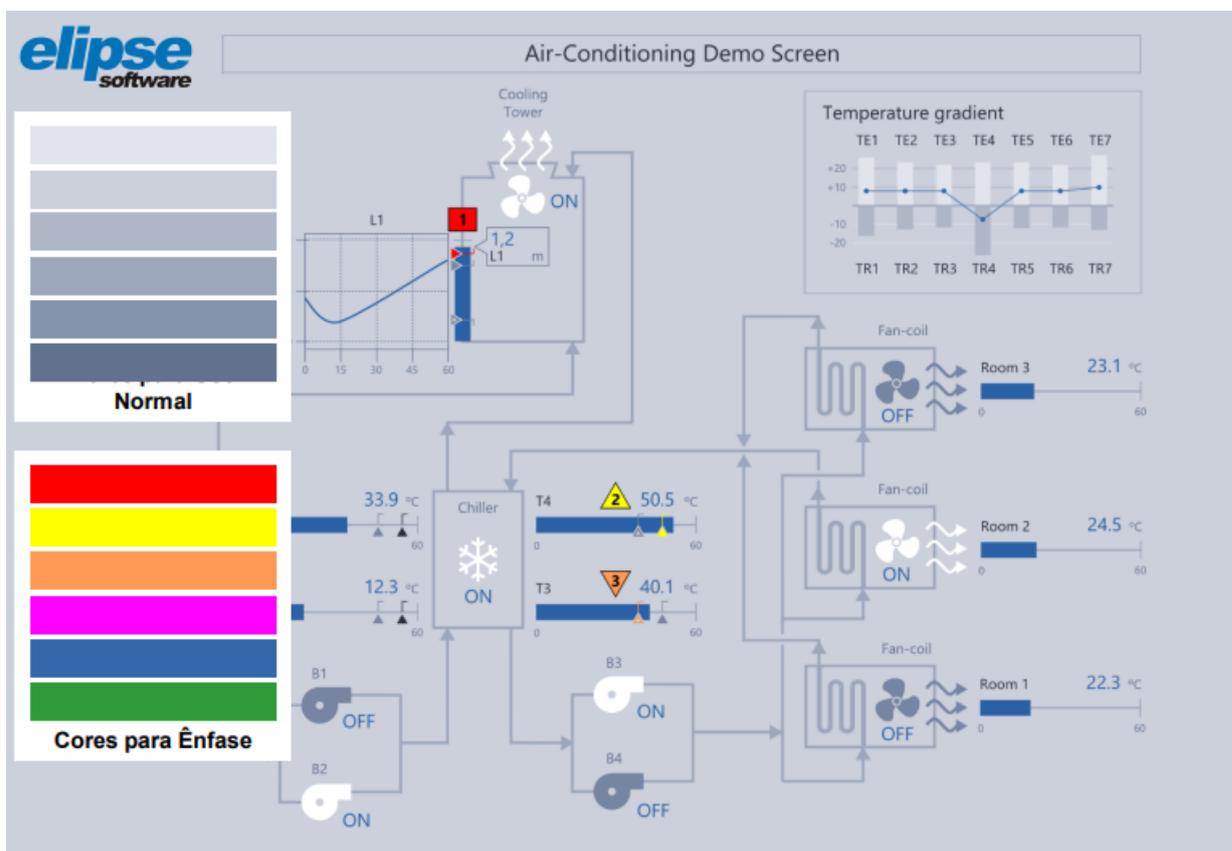


Figura 6 – Exemplo de aplicação das cores indicadas para o desenvolvimento de telas para IHMs em uma planta de refrigeração. Fonte: ISA (2016).

Gradientes de cores não são indicados, visto que, não acrescentam informações importantes para o controle das operações de campo. A comparação apresentada na Figura 7 mostra a diferença do uso de cores e formas entre uma IHM de baixo desempenho e outra de alto desempenho. Na IHM de baixo desempenho, a representação das bombas é feita em 3D, com cores de destaques para modos normais de operação e em gradiente. Na IHM de alto desempenho, por outro lado, espera-se encontrar simplicidade e informações significativas, como mostra o exemplo à direita, onde são usadas cores neutras e representações 2D simples e capazes de transmitir as informações passadas com clareza.

2.5.2 Exibição de informações

As informações relacionadas a um processo podem ser exibidas de diversas maneiras. No entanto, é necessário selecionar ferramentas adequadas para auxiliar na identificação

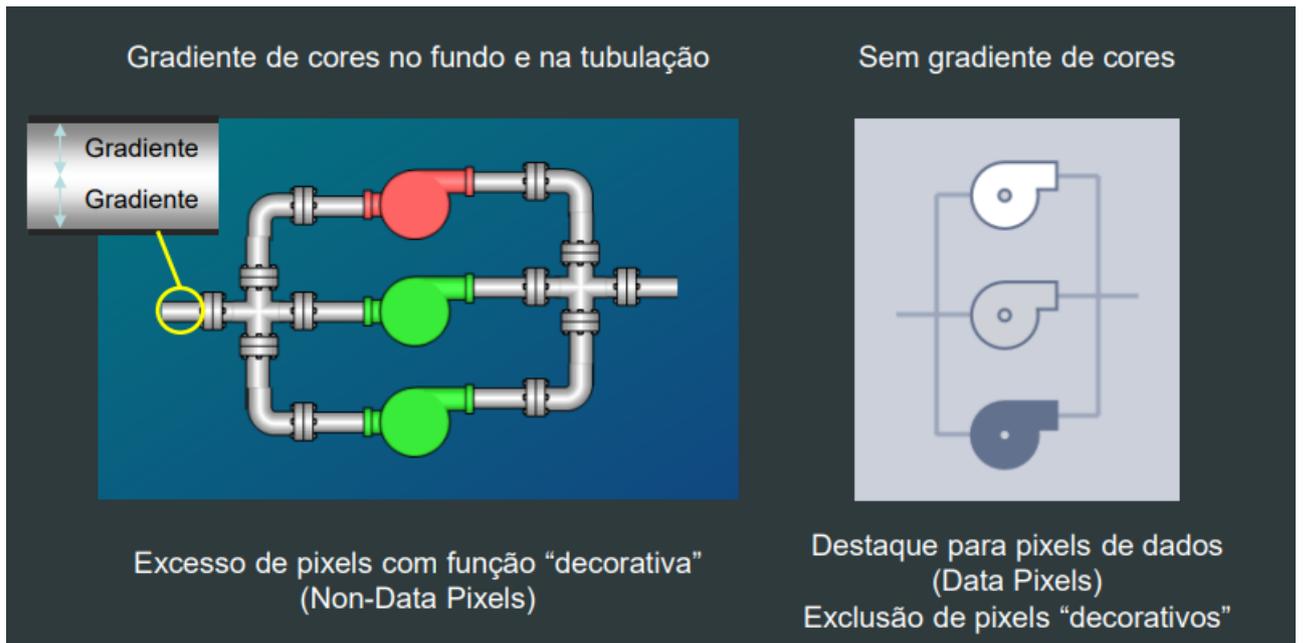


Figura 7 – Exemplo de representação inadequada de bombas com uso de várias cores, figuras tridimensionais e gradiente comparado à uma representação adequada. Fonte: ISA (2016).

clara de algo fora do esperado. Isso pode ser feito a partir de diversos gráficos, cores ou tamanhos. As figuras 8 e 9 exemplificam uma forma de representação mais intuitiva e mais limpa para apresentação de temperaturas medidas em um determinado equipamento e gráficos de barras 3d e 2d respectivamente.

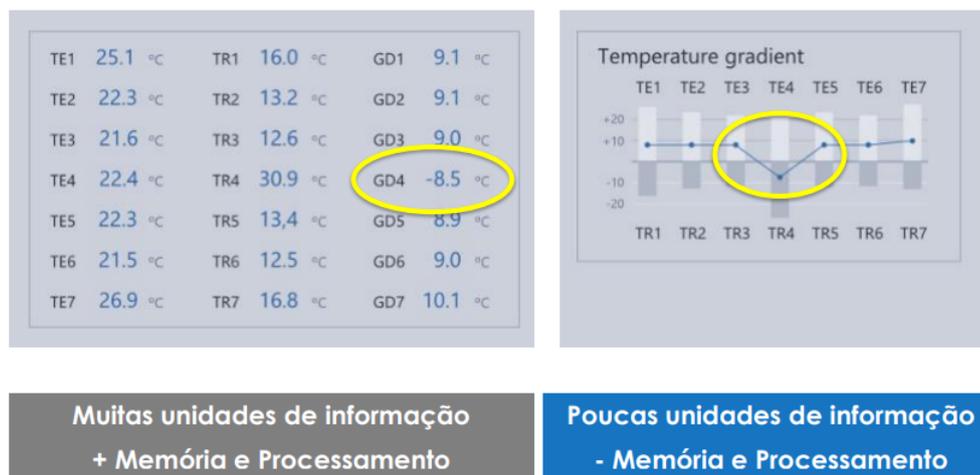


Figura 8 – Exemplo de representação de diversos valores adequados para uma representação gráfica com resultado mais intuitivo. Fonte: ISA (2016).

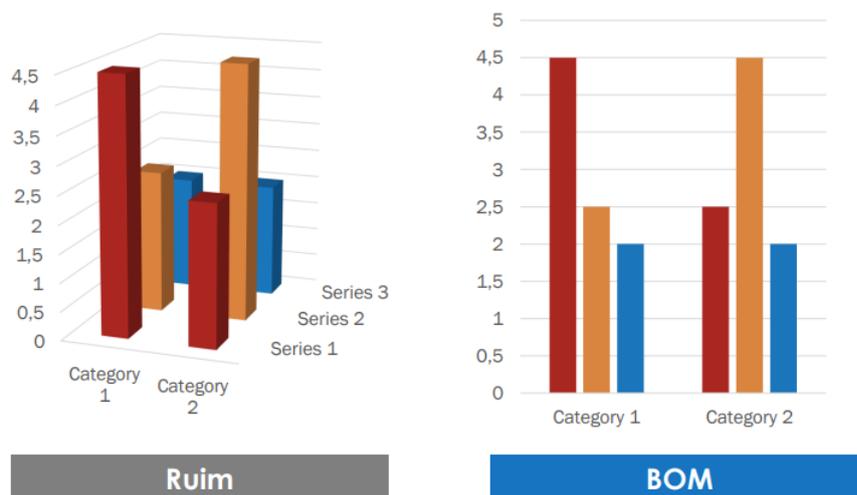


Figura 9 – Cores indicadas para o desenvolvimento de telas para IHMs. Fonte: ISA (2016).

3 Metodologia

O desenvolvimento deste trabalho consiste na aplicação das definições da filosofia de interfaces e do guia de estilos desenvolvido pela empresa e, além disso, aponta como os itens se associam às normas exploradas anteriormente no capítulo 2, revisão da literatura. Assim, o desenvolvimento do trabalho foi distribuído em estudo do problema, definição dos itens a serem representados, criação do *layout*, cadastro de variáveis a serem lidas do CLP, como também das variáveis associadas aos comandos escritos no CLP. Por fim, é realizada a montagem das telas e são realizados os testes de funcionamento.

3.1 Materiais

O projeto apresentado neste trabalho foi realizado no *software* de desenvolvimento de interfaces Vijeo Designer e instalado na IHM com um painel táctil de 10,4 polegadas, produzido pela Schneider Eletric ([ELECTRIC, 2024](#)). Para a realização de testes foi utilizado o CLP (Controlador Lógico Programável) de bancada, BMEP586040, também da Schneider ([ELECTRIC, 2024](#)), para compatibilizar a comunicação que acontece via TCP/IP sobre a rede física Ethernet. Dessa forma, os seguintes materiais foram necessários:

- IHM Scheneider Eletric, modelo HMIGK5310 ([ELECTRIC, 2024](#));
- *Software* Vijeo Designer ([ELECTRIC, 2024](#));
- Fonte de 24v;
- Cabo de rede RJ45;

3.2 Estudo do problema

A investigação do problema se deu pela observação de várias Interfaces Homem-Máquina físicas implementadas na mineradora para monitoramento de alguns processos de campo. A partir da análise e comparação entre elas foi possível destacar problemas como a baixa padronização, *layouts* pouco ergonômicos, excesso de informações nas telas, permissões de acesso pouco definidas, além de manutenção e implementação pouco intuitivas.

Durante a análise, foi selecionada a IHM usada para representar o processo de britagem, apresentada na Figura 10. Nela pode-se observar um excesso de informações, abrangendo partes do processo que não pertencem à britagem, cores pouco ergonômicas,

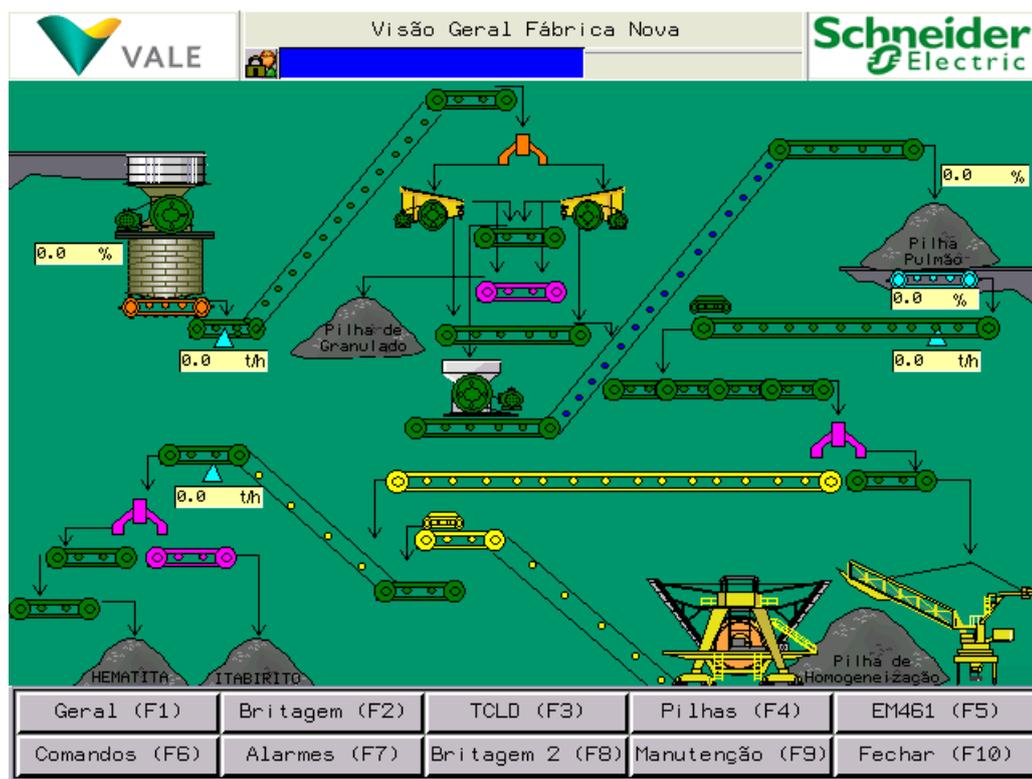


Figura 10 – Exemplo de tela analisada contendo o fluxo geral do processo

representações realistas em 3D dos equipamentos que não acrescentam informações relevantes para o usuário, além de telas genéricas que se repetiam para cada situação, como a tela de detalhes de equipamentos.

O processo de britagem, representado na IHM analisada, é responsável pela cominuição do material extraído da natureza no intuito de prepará-lo para a venda ou para outro processos de beneficiamento com o objetivo de remover impurezas e aumentar o teor do material de interesse, neste caso, o minério de ferro.

A imagem 11 apresenta um exemplo de fluxograma de uma britagem primária. Nela o ROM (*Run-of-mine*), produto trazido diretamente da lavra, é levado para a moega com o objetivo de remover e reduzir os matacões de grandes dimensões com auxílio do rompedor. O material passante é direcionado para um alimentador de sapatas que direciona o material para uma grelha vibratória, responsável por distribuir o material de forma mais uniforme para o britador de mandíbulas. Por fim, o material cominuído é direcionado para a próxima etapa, que, no caso, é armazenado em uma pilha pulmão.

3.3 Estudo das normas

O estudo das normas foi apresentado no referencial teórico e é responsável por delimitar os padrões e filosofias que conduzem a criação da IHM apresentada neste trabalho.

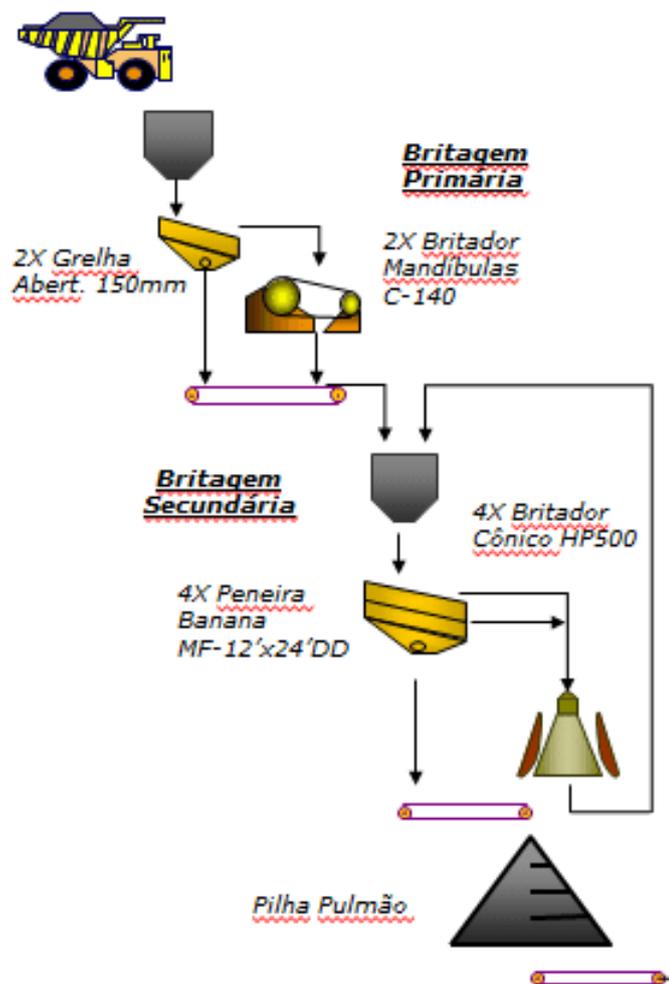


Figura 11 – Exemplo de representação de um fluxograma de britagem primária. Fonte: (MAZZINGHY et al., 2017).

3.4 Desenvolvimento de telas

Apresenta-se neste trabalho o desenvolvimento das telas responsáveis por representar a etapa de britagem e peneiramento de uma das minas da mineradora que será utilizada pelas equipes de manutenção e operação no campo e será mantida e atualizada pela equipe de automação. As etapas necessárias para a criação das telas serão apresentadas a seguir, desde o estudo de requisitos até a montagem das telas e a automação da criação de variáveis.

3.4.1 Definição de telas

De modo geral, há certas telas que estão presentes na representação de todo e qualquer processo. Exemplo disso são as telas de alarme, de *logs* de eventos, de detalhamento e de comando de equipamentos. Além disso, é essencial conhecer o processo a ser representado com o objetivo de definir outras necessidades mais específicas.

Em seguida, para a adequação das telas de representação do processo de britagem, inicia-se pelo estudo do processo e da necessidade de cada um de seus usuários, onde são selecionadas quais informações serão mantidas, quais serão eliminadas e quais serão adicionadas à representação. A partir dessa análise, as informações foram distribuídas nas seguintes telas:

- Uma tela principal, contendo o fluxo geral da britagem, onde as setas são responsáveis por representar o caminho percorrido pelo material entre os equipamentos. Além disso, algumas informações significativas ou críticas podem ser exibidas no intuito de serem acompanhadas continuamente;
- Duas telas secundárias, contendo o fluxo detalhado do britador A e do britador B. Esse fluxo é alocado em uma tela secundária buscando reduzir a quantidade de informações na tela principal, enquanto possibilita o acesso à outros equipamentos, dados e comandos;
- Detalhamento dos equipamentos, onde é possível acessar os botões de comandos, lista de diagnósticos e seus respectivos estados, dentre outras informações mais específicas do equipamento selecionado para exibição;
- *Logs* de eventos, onde são listadas informações de modificações, comandos recebidos e eventos ocorridos durante a execução;
- Alarmes, tela responsável por exibir um histórico dos alarmes acionados ao longo da execução, contendo as variáveis que excederam os limites aceitos;
- *Login*, responsável por registrar o usuário que irá operar a IHM, verificar suas permissões e assim personalizar os acessos do perfil às telas e aos botões, além de registrar o responsável por realizar alterações na tela de *logs*;
- Cadastro de usuários, usada para criar novos perfis de usuários;
- Legendas, onde são encontradas orientações para identificação do significado de cada uma das cores.

3.4.2 Definição de itens de *layout*

De acordo com o guia de estilos estabelecido pela empresa, desenvolveu-se um kit de ferramentas dedicado para orientar o desenvolvimento padronizado de Interfaces Homem-Máquina (IHM) no *software* Vijeo Designer. Este kit de ferramentas contém definições detalhadas que ajustam as recomendações do guia de estilos às funcionalidades específicas e limitações do Vijeo Designer, garantindo que a criação das IHMs esteja alinhada com os padrões visuais e técnicos da empresa.

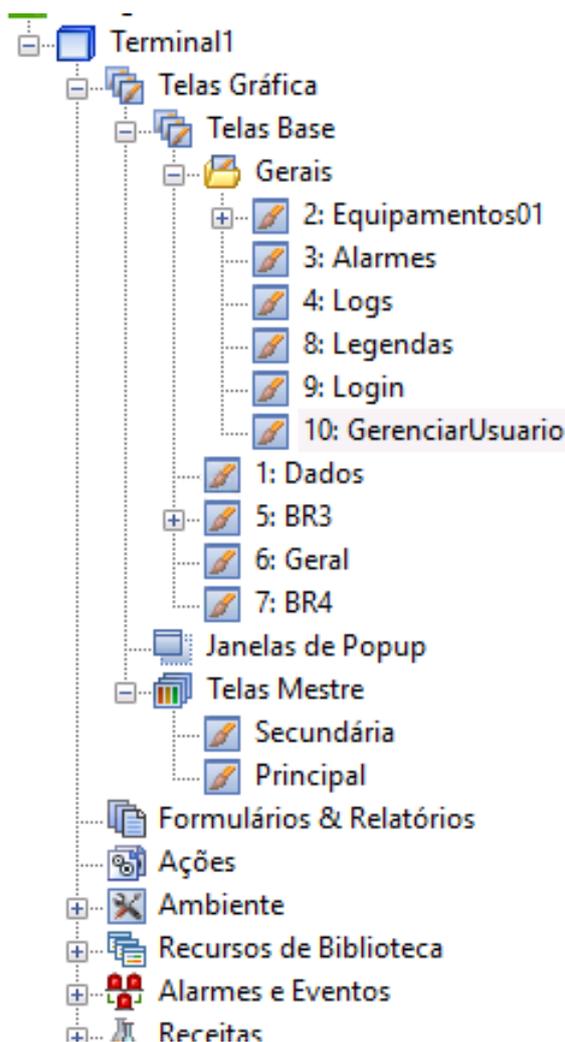


Figura 12 – Lista de telas criadas

A primeira orientação detalhada no kit de ferramentas é o esquema de cores. Alinhado com as diretrizes da empresa, as cores seguem as sugestões do guia de estilo onde a cor de fundo foi cuidadosamente selecionada para assegurar uma experiência de usuário ergonômica. Optou-se por uma tonalidade neutra e suave, facilitando a leitura prolongada sem causar estresse visual ou fadiga. Essa escolha promove um contraste ideal, realçando as informações cruciais de forma eficiente.

A Tabela 1 detalha os valores RGB e esclarece a finalidade de cada cor utilizada, assegurando uma hierarquia visual intuitiva e facilitando a compreensão imediata das informações. A paleta de cores é empregada estrategicamente nos dados como um código visual, representando diferentes níveis de importância. A variação na intensidade das cores permite aos usuários reconhecer e assimilar informações críticas de forma rápida e intuitiva, otimizando o processo de tomada de decisão.

Já a escolha da fonte principal foi orientada pelo propósito de proporcionar facilidade de compreensão, legibilidade e clara distinção entre os caracteres, por exemplo, entre

Lista de cores		
Geral	Fundo de tela	RGB: (224,228,237)
	Cor do texto	RGB: (90,121,152)
Estados	Defeito	RGB: (255,165,0)
	Intertravamento	RGB: (65,105,255)
	Parado	RGB: (255,255,255)
	Funcionando	RGB: (192,192,192)
Botões	Contorno	RGB: (176,191,212)
	Disponível	RGB: (200,211,225)
	Selecionado	RGB: (200,211,225)
	Indisponível	RGB: (224,228,237)
Alarmes Críticos	Aceitável	RGB: (245,240,205)
	Alto/Baixo	RGB: (225,225,0)
	Muito alto/muito baixo	RGB: (225,0,0)

Tabela 1 – Lista de cores RGB e suas respectivas aplicações

elementos como "1", "l", "I", "o", "O" e "0", como mostra a Figura 13. O tamanho da fonte é ajustado com base na resolução física da Interface Homem-Máquina, assegurando que sua exibição tenha, no mínimo, 5mm de altura.

Ilustração 00 (Arial)

Ilustração 00 (Calibri)

Ilustração 00 (Tahoma)

Ilustração 00 (Verdana)

Figura 13 – Comparação de legibilidade entre fontes de texto. Fonte: [Acessibilidade \(2019\)](#)

Os equipamentos a serem representados foram criados em forma de objetos e adicionados à uma biblioteca comum como parte do kit de ferramentas utilizado pela empresa. Neste modelo, a representação é feita em 2D, sem preenchimento e contornado com a cor do texto apresentada na lista de cores. Alguns exemplos de objeto criados podem ser vistos na Figura 14.

3.4.3 Desenvolvimento de automações

Para simplificar a criação e modificação das IHMs e viabilizar a diminuição de falhas no processo, foram desenvolvidos dois tipos de automações. O primeiro tipo está associado à geração de variáveis essenciais para o controle e a leitura de valores provenientes do Controlador Lógico Programável (CLP). Já o segundo é responsável pela interação dessas variáveis com o *layout* descrito na seção anterior.

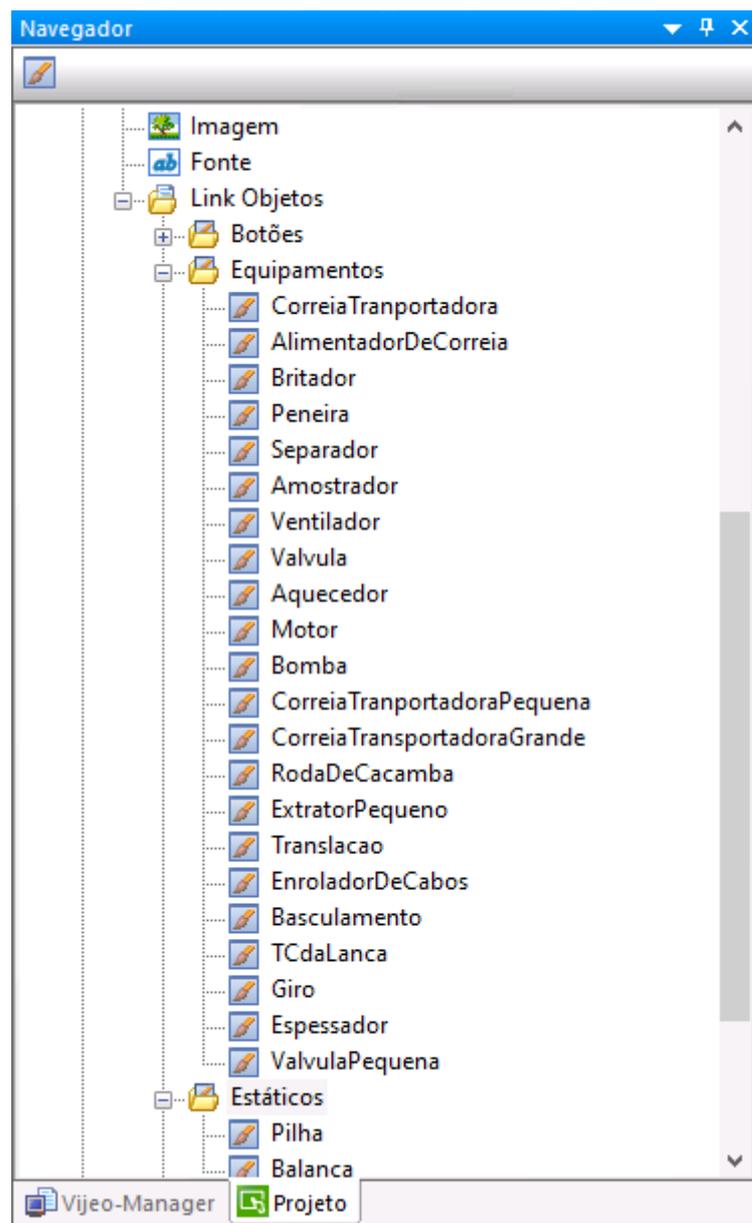


Figura 14 – Lista de objetos criados no kit de ferramentas

3.4.3.1 Criação de variáveis

A criação de variáveis em uma IHM e o mapeamento de seus respectivos endereços associados ao CLP são tarefas demoradas e propensas a erros, geralmente feitas de forma manual, uma a uma.

Visando otimizar este processo, uma tabela foi preenchida com as variáveis a serem adicionadas à IHM, descrevendo o nome da TAG, o endereço no CLP, e uma descrição curta opcional. Para variáveis analógicas também são descritas as parametrizações de mínimo e máximo e os alarmes quando existentes. Essas informações podem ser facilmente extraídas de um Mapa de Memória¹, caso exista, o que torna o preenchimento da tabela

¹ Documento que indica como a memória foi estruturada e organizada. Neste caso, indica as entradas e

ainda mais eficiente.

A partir de uma Macro do Excel, parcialmente mostrada na Figura 15, foi desenvolvido um *script* compatível com o Vijeo Designer, que permite a importação direta das informações necessárias na IHM. O método simplifica significativamente a configuração da Interface Homem-Máquina, economiza tempo e reduz a margem de erro, além de auxiliar na manutenção de um padrão de criação.

```

Microsoft Visual Basic for Applications - Gerador de script de diagnosticos.xlsm - [Módulo1 (Código)]
Arquivo  Editar  Exibir  Inserir  Formatar  Depurar  Executar  Ferramentas  Suplementos  Janela  Ajuda
Ln 333, Col 35
(IHM_SCRIPTS)
Sub IHM_NOME_EQP ()
    Dim NOME_RECEITA As String

    Dim TEXTO_RECEITA As String 'Texto Completo
    Dim TEXTO_RECEITA_P1 As String 'Parte 1 do texto
    Dim TEXTO_RECEITA_P2 As String 'Parte 2 do texto
    Dim TEXTO_RECEITA_P3 As String 'Parte 3 do texto
    Dim TEXTO_RECEITA_P4 As String 'Parte 4 do texto

    Dim PRIMEIRA_LINHA As Integer 'Linha onde iniciam os dados
    Dim COLUNA_NOME_EQUIPAMENTOS As Integer 'Coluna onde estão os nomes dos equipamentos

    Dim NOME_EQUIPAMENTO As String
    Dim ID_EQUIPAMENTO As String 'Inteiro usado para identificar o equipamento - precisa ser o mesmo das variáveis

    NOME_RECEITA = "EQUIPAMENTOS"
    PRIMEIRA_LINHA = 12
    COLUNA_NOME_EQUIPAMENTO = 2

    'Texto padrão do formato de receita
    TEXTO_RECEITA = ""Vijeo-Designer Recipe;3;"" & Chr(13) & "TypeRG;Name;Recipe Group Type;Access Right;Send Mode;1" & Chr(13) _
        & "RecipeGroup;" & NOME_RECEITA

    TEXTO_RECEITA_P1 = ";NormalRecipe;0;Conditional;""RecipeGroup1"";" & Chr(13) _
        & "TypeL;Lang ID;Locale;Lang Name" & Chr(13) & "Language Table;1;POR;Idiomal" & Chr(13) _
        & "TypeIR;Root Name;Type Name;Array Size;Folder Name" & Chr(13) _
        & "Ingredient Root;NOMES;ARRAY_STR_100;0;RECEITAS." & NOME_RECEITA & Chr(13) _
        & "TypeI;Name;Data Type;Editable;Array Size;Min;Max;1"

    TEXTO_RECEITA_P2 = Chr(13) & "TypeR;Name;Recipe ID;Access Right;1" & Chr(13) & "Recipe;NOMES" _
        & ";1" & ";0;""Recipe1"" & Chr(13) _
        & "TypeRI;Name"

    TEXTO_RECEITA_P3 = Chr(13) & "Recipe Ingredient;NOMES"

```

Figura 15 – *Script* desenvolvido em VBA para gerar lista de variáveis

3.4.3.2 Automação para animação e atualização das telas

As automações utilizadas para animar as telas do projeto foram elaboradas por meio de *scripts* suportados pelo *software* Vijeo Designer. Esses *scripts* são responsáveis pela atualização da tela de detalhes dos equipamentos, visando torná-la genérica e, por conseguinte, permitir o uso de apenas uma tela para representar todos os equipamentos. Isso facilita a criação e a modificação dos equipamentos, bem como suas definições na Interface Homem-Máquina.

O gerenciamento da identificação do equipamento escolhido é conduzido por meio de uma variável que é atribuída a um identificador inteiro associado antecipadamente a cada um dos equipamentos. Após a seleção, o *script* correspondente é acionado para atualizar todas as informações a serem exibidas, incluindo diagnósticos, sejam eles defeitos

saídas dos dispositivos conectados aos CLPs.

ou intertravamentos, valores analógicos, estados e comandos. Ao final do processo, a tela é apresentada com todas as informações carregadas.

A cada projeto, a complexidade na elaboração dos *scripts* aumenta proporcionalmente ao número de equipamentos a serem controlados. Para contornar essa complexidade, foi desenvolvida uma aplicação específica com o propósito de extrair automaticamente as informações necessárias. Assim como na sessão anterior, relativa a criação de variáveis, os valores necessários podem ser encontrados no Mapa de Memória e adicionados à tabela de dados. Um exemplo do resultado obtido pode ser visualizado na Figura 16, onde a variável “DIAGNOSTICO-SELECIONADO” é uma lista de *strings* responsável por exibir o texto de cada diagnóstico na tela assim que são atualizados.

Script

```
//
// Descrição: Atualiza os diagnsticos de acordo com a seleção do equipamento
//
//-----
if(CONTROLE.DIAGNOSTICOS.ATUALIZAR_DIAGNOSTICOS.getIntValue()>4 && CONTROLE.DIAGNOSTICOS.ATUALIZAR_DIAGNOSTICOS
    CONTROLE.DIAGNOSTICOS.ATUALIZAR_DIAGNOSTICOS.write(0);
} else{
    CONTROLE.DIAGNOSTICOS.ATUALIZAR_DIAGNOSTICOS.add(1);
}

//Identifica o equipamento selecionado
int equipamentoSelecioneado = CONTROLE.EQUIPAMENTO_SELECIONADO.getIntValue();

//Identifica o tipo de diagnóstico selecionado
int diagnosticoSelecioneado = CONTROLE.DIAGNOSTICOS.DIAGNOSTICO_SELECIONADO_ID.getIntValue();

// Atualiza a lista de descrição dos defeitos e intertravamentos
if(diagnosticoSelecioneado>0 && diagnosticoSelecioneado<6){
    switch(equipamentoSelecioneado){
        case 0:{
            switch(diagnosticoSelecioneado){
                case 0:{
                    CONTROLE.DIAGNOSTICOS.DIAGNOSTICOS_SELECIONADOS_MSG[0].write("Sobrecarga");
                    CONTROLE.DIAGNOSTICOS.DIAGNOSTICOS_SELECIONADOS_MSG[1].write("Disjuntor Desligado");
                    CONTROLE.DIAGNOSTICOS.DIAGNOSTICOS_SELECIONADOS_MSG[2].write("Corrente Alta");
                    CONTROLE.DIAGNOSTICOS.DIAGNOSTICOS_SELECIONADOS_MSG[3].write("CCM-4781 Circuito de fo");
                    CONTROLE.DIAGNOSTICOS.DIAGNOSTICOS_SELECIONADOS_MSG[4].write("Defeito Eletrico");
                    CONTROLE.DIAGNOSTICOS.DIAGNOSTICOS_SELECIONADOS_MSG[5].write("Desbalanceamento de Fase");
                    CONTROLE.DIAGNOSTICOS.DIAGNOSTICOS_SELECIONADOS_MSG[6].write("Falta de Fase");
                    CONTROLE.DIAGNOSTICOS.DIAGNOSTICOS_SELECIONADOS_MSG[7].write("Fuga a Terra");
                }
            }
        }
    }
}
```

Validar

Aplicar Adicionar-> Cancelar

Figura 16 – *Script* usado para carregamento de valores na tela de detalhes do equipamento

Dessa forma, sempre que se clica em um equipamento, ele é selecionado e o *script* mostrado na Figura 16 é responsável por trazer as informações a serem exibidas como o nome, o estado, os comandos e diagnósticos.

3.4.4 Montagem das telas

Após a importação de todas as variáveis necessárias e a criação dos *scripts* encarregados pela atualização e administração da interface, a etapa subsequente envolve a montagem efetiva das telas. Este processo requer uma seleção criteriosa das informações que serão exibidas. É necessário aplicar as orientações da filosofia de estilos e manter apenas o que será realmente importante para o usuário para garantir um entendimento rápido e preciso do fluxo apresentado.

A Figura 17 mostra a construção da tela principal, responsável por exibir uma visão geral do fluxo principal da britagem. Nela pode-se observar alguns objetos desenvolvidos como o britador, alimentadores, peneiras, amostradores, correias transportadoras e indicadores de nível, além de setas que auxiliam no entendimento do fluxo. Na parte inferior da tela observa-se os botões de navegação, data e informações do usuário que está acessando a IHM. Já na parte superior é exibida a janela de alarmes, contendo o número, data, hora e a mensagem de identificação de cada um deles.

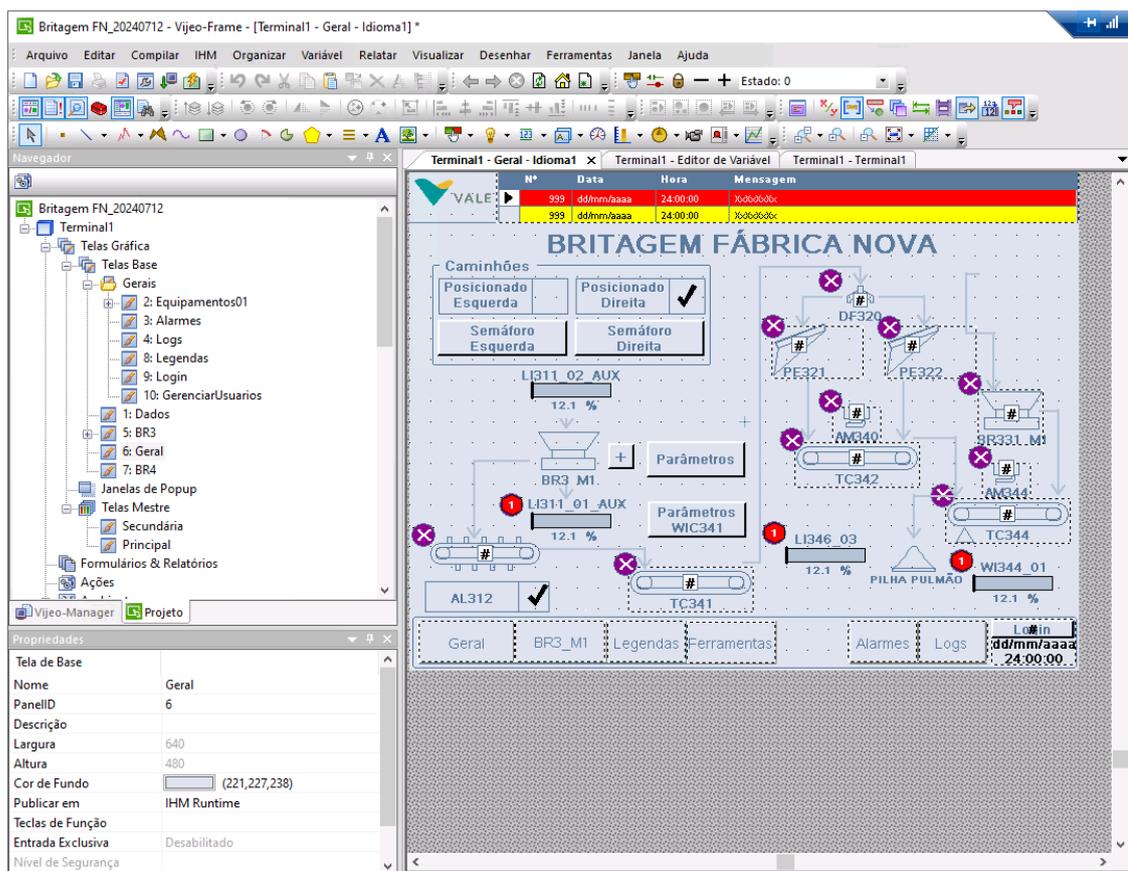


Figura 17 – Tela principal sendo desenvolvida no Vijeo Designer

Após a criação de todas as telas foi realizada a configuração de comunicação com o CLP, possibilitando a execução da IHM. Nesta etapa é possível realizar os primeiros testes de execução, garantindo que o projeto não possua erros e que os valores de leitura e escrita

correspondam aos valores reais enviados pelo CLP. A simulação da tela de detalhamento pode ser vista na Figura 18, onde observa-se o uso do padrão de cores sugeridas pela norma ISA-101 (ISA, 2016).

Na imagem, destacam-se a barra de alarme em vermelho, representando uma informação crítica, o indicador de alarme ao lado do BR3_M4, que indica um alarme de criticidade 2, além dos equipamentos em laranja, sinalizando defeitos, e o equipamento em azul, que representa um intertravamento. Por outro lado, os equipamentos em cinza não recebem destaque, já que indicam funcionamento esperado e não exigem a atenção imediata do operador.

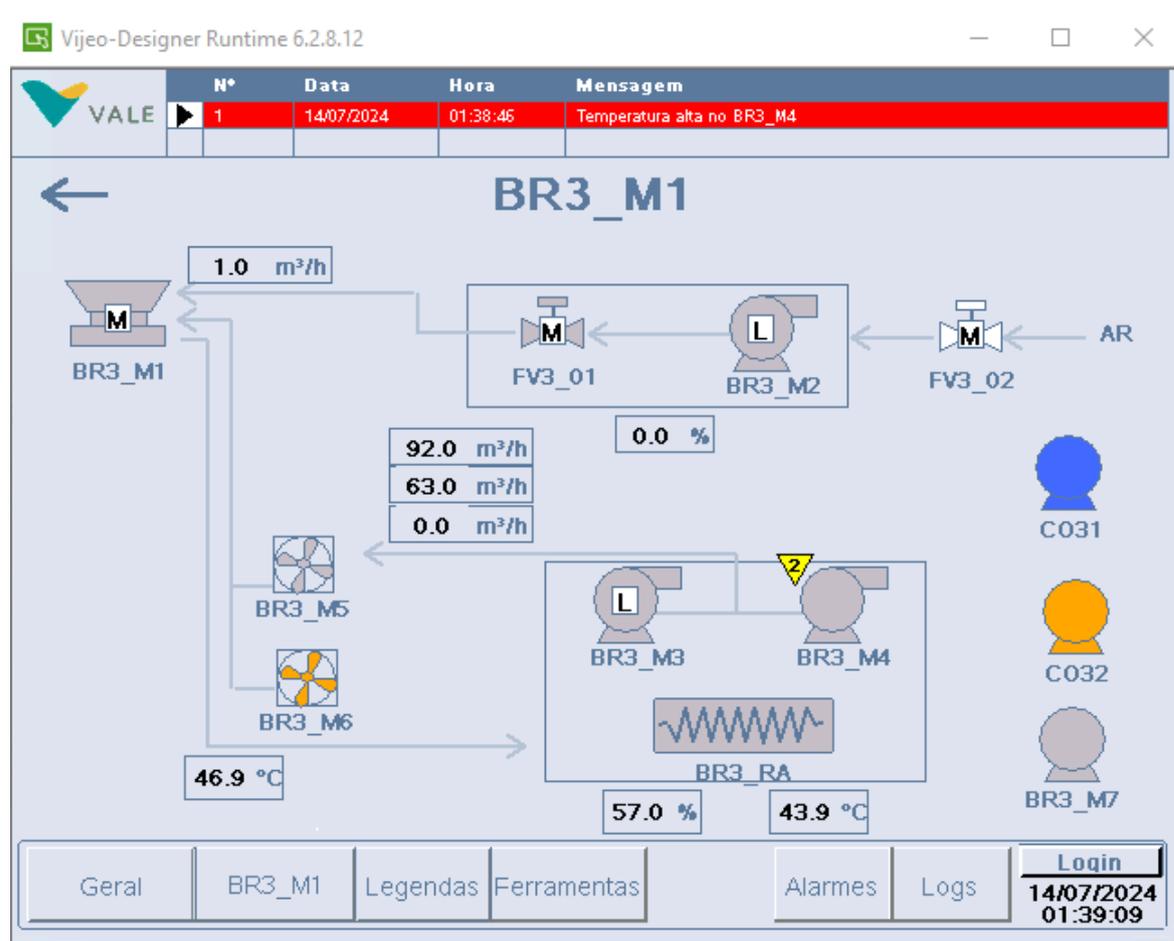


Figura 18 – Simulação de execução da IHM

É importante destacar que o contraste entre as cores escolhidas se mantém eficaz, mesmo para usuários daltônicos. Isso é evidenciado na figura 19, gerada pelo simulador Coblindor (COLOR BLINDNESS, 2024), uma ferramenta que permite avaliar diferentes tipos de daltonismo e verificar a acessibilidade da aplicação.

Por fim, o *download* foi realizado no *hardware* da IHM, permitindo a execução dos testes de funcionamento e a análise das dimensões dos objetos. Com a IHM montada, é possível apresentá-la aos usuários, possibilitando a realização das etapas de validação

Drag and drop or paste your file in the area below or: TelaExecutada.png

Trichromatic view: Anomalous Trichromacy:
 Normal
 Red-Weak/Protanomaly
 Green-Weak/Deuteranomaly
 Blue-Weak/Tritanomaly

Dichromatic view:
 Red-Blind/Protanopia
 Green-Blind/Deuteranopia
 Blue-Blind/Tritanopia

Monochromatic view:
 Monochromacy/Achromatopsia
 Blue Cone Monochromacy

Use lens to compare with normal view: No Lens Normal Lens Inverse Lens

[Reset View](#) [Open simulated image in new window](#)

Figura 19 – Simulação de daltonismo para avaliação do contraste de cores

e a melhoria contínua com base nas sugestões recebidas. A Figura 20 apresenta a tela principal do fluxo sendo executada na IHM física, onde é possível interagir com o sistema de supervisão a partir do *touchscreen* da tela. Neste caso, os botões físicos não foram configurados e não possuem utilidade para o usuário.



Figura 20 – Execução na IHM após download

4 Resultados

Durante o desenvolvimento deste estudo foi possível conduzir uma análise detalhada da literatura disponível, com ênfase na norma ISA-101. As referências escolhidas estabelecem práticas e diretrizes robustas para a construção de Interfaces Homem-Máquina em sistemas de Automação Industrial.

A investigação aprofundada da ISA-101 revelou a crítica necessidade de aderir a um conjunto de princípios bem definidos para o *design* e a ergonomia das IHMs. O objetivo é não apenas otimizar, mas também aumentar a segurança e a eficácia operacional e de manutenção dos sistemas de controle. Este foco nas diretrizes da ISA-101 enriquece a compreensão sobre a importância de integrar práticas de *design* centradas no usuário, garantindo que as IHMs contribuam significativamente para a melhoria da interação entre os seres humanos e os sistemas automatizados.

Atualmente, a IHM se encontra em fase de testes, o que impede a coleta imediata de avaliações dos operadores. No entanto, prevê-se que poderá haver alguma resistência às adaptações, uma vez que as telas atuais apresentam *layouts* mais chamativos. Ainda assim, ao longo deste trabalho, foram apresentados diversos argumentos a favor do uso de interfaces mais limpas e ergonômicas, como o aumento da segurança e da eficiência operacional. Esses pontos podem ser comunicados aos operadores, auxiliando-os a compreender a relevância e a necessidade das mudanças. Pequenos ajustes podem ser implementados durante a transição, tornando o processo de adaptação mais suave e natural.

Adicionalmente, priorizou-se o desenvolvimento de uma aplicação de fácil replicabilidade, visando facilitar sua adoção em outras Interfaces Homem-Máquina dentro da organização. Tal abordagem promove a padronização em várias operações, simplificando significativamente processos de manutenção e tornando-os mais intuitivos. Este enfoque em replicabilidade não só otimiza a eficiência operacional, mas também assegura uma consistência na experiência do usuário, reforçando a ergonomia e a usabilidade em todo o espectro de IHMs empregadas pela empresa.

O uso de planilhas para a definição de variáveis simplifica e acelera o processo de desenvolvimento de Interfaces Homem-Máquina desde a concepção inicial. A alteração de variáveis, adição ou remoção de equipamentos e ajustes na representação de algum equipamento existente, tornam-se sistêmicos com a aplicação da metodologia estruturada neste trabalho. Isto favorece a replicabilidade e a consistência, padroniza e permite que qualquer desenvolvedor, independentemente de seu nível de familiaridade prévio com o sistema, execute as etapas necessárias de maneira eficaz, sem a necessidade de longos treinamentos. Assim, a dependência de extensas horas de estudo do sistema ou

experiência prévia com o *software* é significativamente reduzida, democratizando o acesso ao desenvolvimento de IHMs e potencializando a colaboração entre programadores de diferentes níveis de habilidade.

A implementação do novo modelo resultou em uma significativa redução no número de telas necessárias para ilustrar o processo. Antes, os detalhes de cada equipamento eram representados de forma estática, sendo necessário criar uma tela para um grupo ou para cada equipamento, conforme a Figura 21. Agora, com a adoção de uma tela genérica, é possível exibir cada equipamento de forma isolada nesta única tela, que foi desenvolvida somente uma vez. Esta tela executa *scripts* dinâmicos para carregar as informações específicas do equipamento selecionado pelo usuário. Essa mudança contrasta diretamente com o método anterior, em que os detalhes sobre comandos, defeitos, estados, valores analógicos e comandos auxiliares eram distribuídos de maneira dispersa e imprevisível. O modelo atual centraliza todas essas informações na tela genérica de equipamentos, oferecendo uma visão consolidada e facilitando o acesso aos dados de forma mais organizada e intuitiva, como mostra a Figura 21.

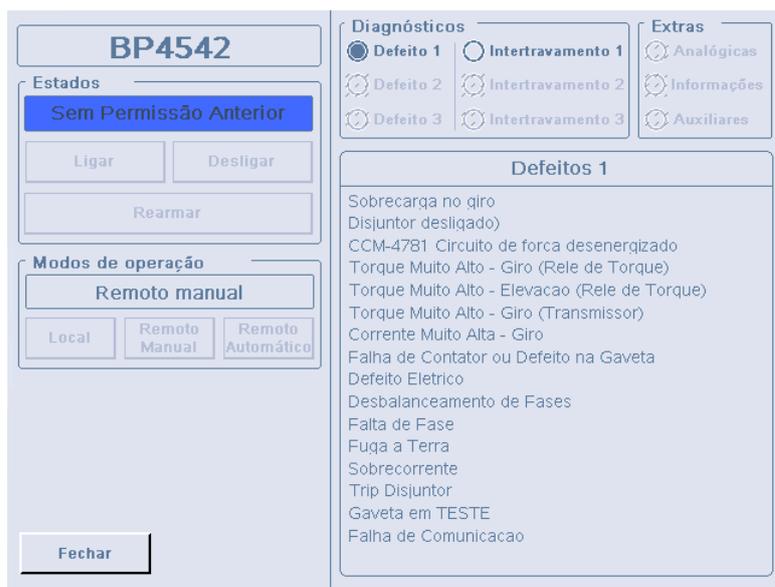


Figura 21 – Novo modelo de tela de detalhes dos equipamentos baseado na filosofia de estilos da empresa

5 Conclusão

O estudo apresentado ao longo deste trabalho mostra a aplicação das diretrizes recomendadas pela literatura e pelas normas internacionais em uma IHM de alto desempenho responsável por monitorar o processo de britagem. Esse movimento é aderido devido a compreensão da relevância das definições estabelecidas tanto para uma operação ergonômica e segura, quanto para a agilidade de manutenção e criação por parte dos desenvolvedores.

A IHM desenvolvida para o processo de britagem da Mina de Fábrica Nova se encontra em etapa de testes, não sendo possível avaliar ainda os resultados a partir da óptica dos usuários. Contudo, apresenta ganhos visíveis relacionados a velocidade de replicação e redução de erros.

Discutiu-se também neste trabalho, o ciclo de vida de IHMs, desde a compreensão e utilização da filosofia e do guia de estilos até o desenvolvimento de kits de ferramentas e das telas (VIEIRA, 2018). Para mais, a modelagem proposta neste trabalho, distingue-se pelo uso de telas genéricas, que são capazes de apresentar informações de diferentes equipamentos ou processos de forma dinâmica, a partir do uso de *scripts* para personalizar os dados conforme a necessidade. Consequentemente, houve uma redução significativa no número de telas, incentivando a adesão aos padrões de *layout*, tornando o projeto mais consistente e robusto.

Outro ganho em destaque é a automação da criação de variáveis de interface com o Controlador Lógico Programável. Essas automações desempenham um papel crucial na minimização da ocorrência de erros durante o cadastro de variáveis, além de facilitar a manutenção de um formato padrão consistente.

Desse modo, conclui-se que os objetivos do trabalho foram atingidos ao desenvolver metodologias que facilitem a aplicação dos padrões previamente estabelecidos para a criação de IHMs de alto desempenho. A partir do uso do modelo apresentado ao longo deste trabalho o desenvolvimento de IHMs torna-se tanto factível quanto intuitivo.

5.1 Sugestões de trabalhos futuros

Buscando aprimorar o modelo obtido e avançar nas contribuições para o campo, recomenda-se para trabalhos futuros o aprimoramento do controle de acessos por perfis de usuários, a avaliação do desempenho das IHMs em relação aos tempos de respostas e a estruturação da metodologia de testes. Essas sugestões oferecem oportunidades valiosas para ampliar a eficiência, a segurança e a robustez das IHMs, contribuindo para o

desenvolvimento contínuo e para a inovação.

Importante: As informações e imagens apresentadas neste trabalho foram adaptadas e possuem a devida permissão da Vale S.A. para publicação.

Referências

- ACESSIBILIDADE, CTA - Centro Tecnológico de. *Tipos de fonte e acessibilidade digital*. 2019. Acessado em: 07-10-2024. Disponível em: <https://cta.ifrs.edu.br/tipos-de-fonte-e-acessibilidade-digital/>. Citado 0 vez na página 25.
- ARAGÃO, C. R. V. A percepção do usuário sobre o fator usabilidade das páginas da web voltadas para o comércio eletrônico, 2001. Disponível em: <http://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/80278>. Citado 1 vez na página 14.
- AUTOMATION, Rockwell. *FactoryTalk View - Software de IHM*. 2024. Acessado em: 04-09-2024. Disponível em: <https://www.rockwellautomation.com/pt-br/products/software/factorytalk/operationsuite/view.html>. Citado 0 vez na página 8.
- BOARD, Chemical Safety. *BP America Refinery Explosion - Final Investigation Report*. 2007. Acessado em: 04-09-2024. Disponível em: <https://www.csb.gov/bp-america-texas-city-refinery-explosion/>. Citado 1 vez na página 13.
- COLOR BLINDNESS. *Coblis — Color Blindness Simulator*. 2024. <https://www.color-blindness.com/coblis-color-blindness-simulator/>. Accessed: 2024-10-14. Citado 1 vez na página 30.
- DUHAIME, Scott; GEIGER, Dave. *High-Performance HMI Screens Benefit Water/Wastewater Operators*. eng. v. 45. Hoboken, US: Blackwell Publishing Ltd, 2019. P. 6–7. Citado 1 vez na página 13.
- ELECTRIC, Schneider. *Schneider Electric - Empresa líder em automação e energia*. 2024. Acessado em: 04-09-2024. Disponível em: <https://www.schneider-electric.com>. Citado 4 vezes na página 20.
- ENGENHARIA NUCLEAR, Instituto de. *Laboratório de Interface Homem/Sistema*. 2017. Acessado em: 28-09-2024. Disponível em: <https://antigo.ien.gov.br/index.php/contato/63-instalacoes/158-laboratorio-de-interface-homem-sistema.html>. Citado 0 vez na página 12.
- HOLLIFIELD, Bill. *The High Performance HMI Handbook*. Plant Automation Services, 2008. Citado 0 vez na página 12.
- ISA, Distrito 4 - Grupo Standards. *Introdução à Norma ISA-101: Interfaces Homem-Máquina*. 2016. III Simpósio ISA São Paulo - Sabesp. Acessado em: 04-09-2024. Disponível em: <https://isasp.org.br/wp-content/uploads/2020/01/ISA-101-III-Simp%C3%B3sio-ISA-S%C3%A3o-Paulo-Sabesp-Nov2016.pdf>. Citado 7 vezes nas páginas 9–11, 14–19, 30.

MAZZINGHY, Douglas et al. AVALIAÇÃO DO INÍCIO DE OPERAÇÃO DAS PRENSAS DE ROLOS DO PROJETO MINAS-RIO. In: p. 798–805. DOI: [10.5151/2594-357X-27003](https://doi.org/10.5151/2594-357X-27003). Citado 0 vez na página 22.

MORGAN, Jeff et al. Industry 4.0 smart reconfigurable manufacturing machines. *Journal of Manufacturing Systems*, v. 59, p. 481–506, 2021. ISSN 0278-6125. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2021.03.001>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S027861252100056X>. Citado 1 vez na página 9.

PAIOLA, C. E. G.; ROCHA, E. H.; RODRIGUES, A. C. A IMPORTÂNCIA DAS NORMAS DE AUTOMAÇÃO PARA A INDÚSTRIA 4.0. *The Journal of Engineering and Exact Sciences*, v. 5, n. 5, p. 0415–0423, dez. 2019. DOI: [10.18540/jcecv15iss5pp0415-0423](https://doi.org/10.18540/jcecv15iss5pp0415-0423). Disponível em: <https://periodicos.ufv.br/jcec/article/view/9375>. Citado 1 vez na página 14.

ROSSETE, Celso Augusto. *Segurança e higiene do trabalho*. Pearson, 2015. v. 10. Disponível em: <https://plataforma.bvirtual.com.br>. Citado 1 vez na página 11.

SAFDARI, R.; DARGAHI, H.; SHAHMORADI, L. Comparing Four Softwares Based on ISO 9241 Part 10, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10916-011-9755-5>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10916-011-9755-5#citeas>. Citado 1 vez na página 14.

URBAS, Leon; OBST, Michael; STÖSS, Markus. Formal Models for High Performance HMI Engineering. *IFAC Proceedings Volumes*, v. 45, n. 2, p. 854–859, 2012. 7th Vienna International Conference on Mathematical Modelling. ISSN 1474-6670. DOI: <https://doi.org/10.3182/20120215-3-AT-3016.00151>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1474667016307844>. Citado 1 vez na página 11.

VIEIRA, L. L. Desenvolvimento de interfaces homem-máquina de alta performance, 2018. Disponível em: <https://www.monografias.ufop.br/handle/35400000/1542>. Citado 4 vezes nas páginas 8, 11, 35.