

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E
TECNOLOGIA FLUMINENSE**

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SISTEMAS APLICADOS
À ENGENHARIA E GESTÃO**

José Luiz Lodi Junior

**MODELAGEM MULTICRITÉRIO APLICADA NA REDUÇÃO DE
IMPACTOS CAUSADOS PELA CORROSÃO ATMOSFÉRICA EM
OPERAÇÕES INDUSTRIAIS NO PORTO DO AÇU**

**Campos dos Goytacazes/RJ
2021**

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
FLUMINENSE**

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SISTEMAS APLICADOS À
ENGENHARIA E GESTÃO**

José Luiz Lodi Junior

**MODELAGEM MULTICRITÉRIO APLICADA NA REDUÇÃO DE
IMPACTOS CAUSADOS PELA CORROSÃO ATMOSFÉRICA EM
OPERAÇÕES INDUSTRIAIS NO PORTO DO AÇU**

Milton Erthal Junior

(Orientador)

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense, no Curso de Mestrado Profissional em Sistemas Aplicados à Engenharia e Gestão (MPSAEG), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Sistemas Aplicados à Engenharia e Gestão.

Campos dos Goytacazes, RJ
2021

Biblioteca Anton Dakitsch
CIP - Catalogação na Publicação

L95m

Lodi Junior, José Luiz
MODELAGEM MULTICRITÉRIO APLICADA NA REDUÇÃO DE
IMPACTOS CAUSADOS PELA CORROSÃO ATMOSFÉRICA EM
OPERAÇÕES INDUSTRIAIS NO PORTO DO AÇU / José Luiz Lodi Junior
- 2022.

103 f.: il. color.

Orientador: Milton Erthal Junior

Dissertação (mestrado) -- Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia Fluminense, Campus Campos Centro, Curso de Mestrado
Profissional em Sistemas Aplicados à Engenharia e Gestão, Campos dos
Goytacazes, RJ, 2022.

Referências: f. 91 a 98.

1. MCDA. 2. Electre III. 3. Corrosão. 4. Maresia. 5. Porto. I. Erthal
Junior, Milton, orient. II. Título.

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
FLUMINENSE

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SISTEMAS APLICADOS À
ENGENHARIA E GESTÃO

José Luiz Lodi Junior

MODELAGEM MULTICRITÉRIO APLICADA NA REDUÇÃO DE
IMPACTOS CAUSADOS PELA CORROSÃO ATMOSFÉRICA EM
OPERAÇÕES INDUSTRIAIS NO PORTO DO AÇU

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense, no Curso de Mestrado Profissional em Sistemas Aplicados à Engenharia e Gestão (MPSAEG), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Sistemas Aplicados à Engenharia e Gestão.

Aprovado em 15 de dezembro de 2021.

Banca Examinadora:



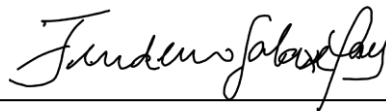
Milton Erthal Junior

Doutor em Produção Vegetal – UENF (Orientador)



Lucas Lopes da Costa

Mestre em Engenharia e Ciência dos Materiais – UENF



Frederico Galaxe Paes

Doutor em Engenharia de Produção – UFF



cn=Helder Gomes Costa
heldergc@id.uff.br:71849483787, ou=UFF -
Universidade Federal Fluminense,
o=ICPEdu, c=BR

Helder Gomes Costa

Doutor em Engenharia Mecânica – PUC RJ

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pelo dom da vida e por me proporcionar a motivação, resiliência e persistência necessária para seguir minha caminhada. Aos meus pais José Luiz e Edna Lodi por todo esforço investido em minha formação educacional e principalmente em minha formação como ser humano. A minha esposa Tatiana Lodi por ter me apresentado a oportunidade e incentivado a ingressar no mestrado e desde sempre estando ao meu lado, dando todo o suporte e carinho que sem dúvidas fizeram a diferença nessa jornada. A empresa a qual eu trabalho pela confiança e incentivo, disponibilizando as horas necessárias para cumprimento do programa.

Ao professor Milton Erthal Junior pela orientação, apoio e confiança durante o desenvolvimento deste trabalho, enriquecendo-o em cada detalhe. Ao professor Henrique Da Hora pela alegria e afimco depositados em suas disciplinas e demais encontros educacionais. Agradeço também aos demais docentes por dedicar seu tempo trazendo conteúdos essencialmente importantes para a nossa formação. Aos amigos Lucas Costa e Rafael Gnechi, pelas importantes dicas e compartilhamento de experiências, que sem dúvidas agregaram muito valor a este trabalho. Por fim a todos os colegas do programa pela amizade e bons momentos vividos juntos.

Agradeço também a todas as demais áreas de suporte do IFF, que mesmo como coadjuvantes, são essenciais para o funcionamento de todo o sistema: secretaria, limpeza, biblioteca, direção, entre outros, por proporcionarem os recursos necessários e um ensino de alta qualidade, fazendo a diferença na vida de cada discente. Meus sinceros agradecimentos.

RESUMO

A corrosão impacta nos resultados financeiros de inúmeras empresas a nível global, destacando aquelas que possuem operações em regiões litorâneas, as quais exprimem elevada agressividade atmosférica. As indústrias localizadas no complexo do Porto do Açu no município de São João da Barra/RJ, sofrem os impactos gerados por esse fenômeno, logo adotar técnicas e mecanismos de prevenção se torna substancial para a preservação do patrimônio destas empresas. Este trabalho tem o objetivo de discriminar os equipamentos e estruturas considerados críticos às operações de uma planta industrial que são impactados pela corrosão atmosférica, e propor um modelo de decisão de escolha de tratamentos contra corrosão mais aderente à natureza de operação destes ativos. Para a modelagem foram utilizados os métodos multicritério de apoio à decisão AHP, para auxiliar na determinação do peso dos critérios e o método Electre III, que permite atribuir valores às alternativas e gerar uma relação de sobreclassificação entre estas. O modelo apontou que os tratamentos de galvanização de zinco e o níquel são as melhores alternativas para prevenir a corrosão no equipamento selecionado para o estudo. Para as estruturas, o galvalume e a galvanização de zinco são os métodos preventivos mais indicados. O modelo proposto apontou soluções sustentadas para a prevenção dos efeitos da corrosão atmosférica em indústrias que operam em região portuária, visando reduzir custos com manutenções não planejadas e o aumento de disponibilidade dos equipamentos à produção. Por fim, através dessa pesquisa, foi possível a disseminação de um método multicriterial que pode ser adaptado e adotado pelas demais áreas dessa planta industrial bem como pelas demais organizações do complexo do Porto do Açu e outras regiões portuárias que sofrem os mesmos impactos da corrosão.

Palavras-chave: MCDA, Electre III, Corrosão, Maresia, Planta Industrial, Porto.

ABSTRACT

Corrosion impacts the financial results of numerous companies worldwide, highlighting those that have operations in coastal regions, which express high atmospheric aggressiveness. The industries located at Porto do Açu in São João da Barra / RJ, are already suffering such impacts generated by this phenomenon, therefore, adopting prevention techniques and mechanisms becomes substantial for preservation of companies' assets. This work aims to discriminate the equipment and infrastructure considered critical to the operations of an industrial plant that are impacted by atmospheric corrosion, and proposing a decision-making model for the choice of corrosion treatments that is more suitable to the operations nature of the selected assets. For modeling, two Multi Criteria Decision Analysis methods were applied, the AHP was used to support determining the criteria's weights and ultimately Electre III method, which allows assigning values to the alternatives and generating an over classification relationship between them. The multi criteria model pointed out that zinc galvanizing and nickel-plating treatments are the best alternatives to prevent corrosion in the equipment selected for the study. For the infrastructure, galvalume and zinc galvanizing are the most suitable preventive methods. The proposed model pointed to sustainable solutions for preventing atmospheric corrosion effects in industries that operate in the port region, aiming to reduce costs with unplanned maintenance and increase the equipment availability for production. Finally, through this research, it was possible to disseminate a multicriteria method that can be adapted and used by the other areas of this industrial plant as well as by the other organizations within Porto do Açu complex and other port regions that suffer the same corrosion impacts.

Keywords: MCDA, Electre III, Corrosion, Sea Air, Industrial Plant, Port.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Agressividade da corrosão atmosférica em algumas cidades brasileiras à luz das normas.....	12
Figura 2. Perda evidente de matéria em estrutura metálica em empresa do Porto do Açu.....	13
Figura 3. Imagem aérea do Complexo do Porto do Açu.	14
Figura 4. Ciclo corrosivo do aço carbono.....	20
Figura 5. Exemplo de um processo de corrosão química.	21
Figura 6. Representação da transformação que ocorre no metal na presença da gota salina. 22	
Figura 7. Modificações na superfície metálica observadas ao longo do ensaio da gota salina em função do tempo. Onde: (a) imediatamente após deposição da gota; (b) após 2 minutos; (c) após 5 minutos; (d) após 8 minutos, (e) após 13 minutos e (f) após 30 minutos.....	24
Figura 8. Principais formas de ataque de corrosão reagrupadas para facilitar a sua identificação.....	25
Figura 9. Formas de corrosão uniforme e por pite respectivamente, identificadas nos equipamentos da empresa em estudo.....	26
Figura 10. Desmetalificação: Camada de dezincificação de uma conexão de latão.....	27
Figura 11. Corrosão sob tensão causada em um monumento de bronze por acúmulo.....	27
Figura 12. Fases de crescimento do biofilme na superfície do metal.	28
Figura 13. Modificações de processo, de propriedade de metais e de projetos.....	30
Figura 14. Carrocerias automotivas sendo mergulhadas em banheiras de zinco fundido (imagem à esquerda) em seguida submergida em banheira de cataforese para eletrodesposição de revestimento (imagem à direita), demonstrando a versatilidade dos processos de imersão à quente.....	31
Figura 15. Imagens microscópicas do teste realizado em aço naval EN32. (a, b) EN32 não revestido (c, d) EN32 com aplicação de base polimérica de primer (e, f) EN32 revestido com primer e mais camada final de tinta epóxi.	33
Figura 16. Protetor temporário aplicado em parafusos tipo estojo.....	34
Figura 17. Ordenação final das alternativas para solução de problemas de águas pluviais na França.....	42
Figura 18. Avaliações das relações de subordinação com base no índice de credibilidade. ..	47
Figura 19. Ordenação final das alternativas.....	48
Figura 20. Metodologia de pesquisa representada por notação BPMN.....	50
Figura 21. Telha de fechamento lateral para galpão industrial.....	56

Figura 22. Etapa antes do processamento da modelagem. <i>Workflow</i> pronto no Diviz com os parâmetros importados para o <i>software</i>	65
Figura 23. <i>Ranking</i> final das alternativas para o equipamento selecionado para o tratamento contra corrosão.	74
Figura 24. <i>Ranking</i> final das alternativas para a estrutura selecionada para o tratamento contra corrosão.	77
Figura 25. Vista aérea do CPA demonstrando o posicionamento dos equipamentos e estruturas mais prejudicados pelos efeitos da maresia.	79
Figura 26. Vista aérea com representação dos ventos incidindo nas indústrias do CPA.	79

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Palavras-chave para busca na base SCOPUS.	18
Quadro 2. Classificação de corrosão atmosférica.	22
Quadro 3. Revestimentos metálicos comumente aplicados na indústria metal mecânica.	30
Quadro 4. Revestimentos não metálicos inorgânicos comumente utilizados para proteção de materiais metálicos contra a corrosão.	32
Quadro 5. Índices randômicos (IR) segundo Saaty.	40
Quadro 6. Versões dos métodos da família Electre e suas aplicações.	41
Quadro 7. Sistema de pinturas para aço carbono para corrosividade categoria C5.	56
Quadro 8. Avaliação qualitativa de variados equipamentos e estruturas, quanto ao desempenho dos tratamentos utilizados para proteção contra corrosão.	57
Quadro 9. Variáveis linguísticas e escala quantitativa do critério viabilidade de manutenção em campo para os equipamentos e estruturas selecionados para o problema de decisão.	59
Quadro 10. Variáveis linguísticas e escala quantitativa do critério saúde e meio ambiente para os equipamentos e estruturas selecionados para o problema de decisão.	60
Quadro 11. Desempenho dos critérios à luz do foco principal.	62
Quadro 12. Avaliação do grau de consistência do modelo de julgamentos.	62
Quadro 13. Matriz de desempenho das alternativas versus critério para a modelagem multicritério do equipamento selecionado como prioritário.	63
Quadro 14. Matriz de desempenho das alternativas versus critério para a modelagem multicritério da estrutura selecionada como prioritária.	63
Quadro 15. Tipos de falhas versus número de registros versus probabilidade.	66
Quadro 16. Equipamentos mais impactados pelos efeitos da corrosão.	68
Quadro 17. Estruturas mais impactadas pelos efeitos da corrosão.	69
Quadro 18. Estrutura e equipamentos.	70
Quadro 19. Matriz de concordância para o equipamento selecionado.	72
Quadro 20. Matriz de discordância para o equipamento selecionado. c01: Custos; c02: Desempenho do Revestimento; c03: Viabilidade de Manutenção em Campo; c04: Saúde e Meio Ambiente.	72
Quadro 21. Matriz de credibilidade para o equipamento selecionado.	73
Quadro 22. Matriz de concordância para a estrutura selecionada.	75

Quadro 23. Matriz de discordância para a estrutura selecionada. c01: Custos; c02: Desempenho do Revestimento; c03: Viabilidade de Manutenção em Campo; c04: Saúde e Meio Ambiente.	75
Quadro 24. Matriz de credibilidade para a estrutura selecionada.....	76

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Categorias de corrosividade atmosférica segundo dados da ISO 9223.....	24
Tabela 2. Grupos de protetores temporários anticorrosivos.	35
Tabela 3. Escala de normalização segundo Saaty.....	37
Tabela 4. Tratamentos escolhidos como as alternativas mais adequadas para tratamento dos problemas dos equipamentos prioritários da empresa.....	53
Tabela 5. Tratamentos escolhidos como as alternativas mais adequadas para tratamento dos problemas das estruturas prioritárias da empresa.	54
Tabela 6. Variáveis linguísticas e escala quantitativa para a durabilidade estimada dos tratamentos avaliados em campo.	58
Tabela 7. Parâmetros do Electre III definidos para cada critério.....	64
Tabela 8. Destilações ascendentes e descendentes para o equipamento selecionado.....	73
Tabela 9. Destilações ascendentes e descendentes para a estrutura selecionada.	76

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Reações das empresas do CPA aos efeitos da corrosão.....	16
Gráfico 2. Resultados da busca na base SCOPUS.....	19
Gráfico 3. Gráfico do pseudocritério.	44
Gráfico 4. Índice de concordância.	45
Gráfico 5. Índice de discordância.	46
Gráfico 6. Resultado da modelagem através do AHP para determinação dos pesos dos critérios para aplicação no MCDA Electre III.	71

LISTA DE SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

AHP - *Analytic Hierarchy Process*

ANP – *Analytic Network Process*

ANTAQ - Agência Nacional de Transportes Aquaviários

ASTM - *American Society for Testing and Materials*

BPMN – *Business Process Model and Notation*

CPA – Complexo do Porto do Açu

ELECTRE – *ELimination Et Choix Traduisant la REalité*

ISO – *International Organization for Standardization*

MCDA – *Multi-Criteria Decision Analysis*

NACE – *National Association of Corrosion Engineers*

NBR – Norma Brasileira

NORSOK - *Norsk Søkkel Konkurransesystem*

OFFSHORE – Ambiente/instalações mar à dentro

PIB – Produto interno bruto

STAKEHOLDERS – Partes interessadas em um dado processo ou projeto

STRING – Mecanismo de busca em base de dados

WORKFLOW – Fluxo de trabalho

SUMÁRIO

RESUMO	IV
ABSTRACT	V
1 INTRODUÇÃO	11
1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS	11
1.2 CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA	14
1.3 OBJETIVOS	16
1.3.1 Objetivo Geral	16
1.3.2 Objetivo Específico	16
1.4 RELEVÂNCIA	17
2 REVISÃO DE LITERATURA	17
2.1 CORROSÃO	20
2.1.1 Corrosão Atmosférica	21
2.1.2 Principais Formas de Corrosão	25
2.1.3 Métodos para Controle da Corrosão	29
2.1.3.1 Revestimentos de Superfície Metálicas	30
2.1.3.2 Revestimentos Não Metálicos Inorgânicos	32
2.1.3.3 Revestimentos Não Metálicos Orgânicos – Tintas e Polímeros	33
2.1.3.4 Inibidores de Proteção Temporária	34
2.2 MÉTODO MULTICRITÉRIO DE APOIO À DECISÃO	36
2.2.1 Método Analítico Hierárquico - AHP	37
2.2.2 Método Multicritério Família Electre e Algumas Aplicações	40
2.2.2.1 Electre III	43
3 MATERIAIS E MÉTODOS	50
3.1 PERCEPÇÃO DOS IMPACTOS DA CORROSÃO E SELEÇÃO DE EQUIPAMENTOS E ESTRUTURAS PARA TRATAMENTO	51
3.2 ESCOLHA DO MÉTODO MULTICRITERIAL	52
3.3 DEFINIÇÃO DAS ALTERNATIVAS DOS REVESTIMENTOS PROTETORES	52
3.4 DEFINIÇÃO DOS CRITÉRIOS	54
3.5 DETERMINAÇÃO DOS PESOS DOS CRITÉRIOS	61
3.6 APLICAÇÃO DO MÉTODO MULTICRITÉRIO ELECTRE III	63

4	RESULTADOS	66
4.1	SELEÇÃO DOS EQUIPAMENTOS E ESTRUTURAS.....	66
4.2	RESULTADOS DO MÉTODO AHP.....	70
4.3	RESULTADOS DO MÉTODO ELECTRE III.....	71
4.3.1	Grupo Equipamentos.....	71
4.3.2	Grupo Estruturas.....	75
4.4	DESCOBERTAS ADICIONAIS DA PESQUISA (FINDINGS).....	78
5	DISCUSSÃO.....	81
5.1	CONTRIBUIÇÕES	86
5.2	LIMITAÇÕES	87
5.3	TRABALHOS FUTUROS	88
6	CONCLUSÃO	89
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	91

1 INTRODUÇÃO

1.1 Considerações Iniciais

A corrosão é um problema que afeta a sociedade e passou a ser percebida na pré-história, quando o homem adquiriu habilidades e começou a trabalhar com os metais (FRAUCHES-SANTOS *et al.*, 2014). Este problema, que se estende até os dias atuais, tem gerado numerosos danos e prejuízos às empresas com atividades distintas, bem como a ocorrência de acidentes de trabalho relacionados à condição corrosiva dos materiais (PANNONI, 2007).

O efeito corrosivo é caracterizado pela deterioração de um dado material, principalmente os metálicos, mas afetam também inúmeros outros tipos, como concreto e cerâmica. A corrosão pode ser ocasionada por ação química ou eletroquímica do meio ambiente, provocando assim a deterioração do material (GENTIL, 2011).

Sabe-se que os metais são encontrados no ambiente na forma combinada com elementos de origem não-metálicas, pois é raro encontrar metais puros. Desta forma, os minérios são considerados as formas oxidadas dos metais, e para se transformarem nas formas de metais puros são necessárias altas quantidades de energia (PANNONI, 2007).

Existem maneiras de se prevenir a corrosão, mas tudo isso deve ser analisado com cautela por profissionais competentes durante o projeto de construção das empresas e dos equipamentos, de modo a projetar de maneira correta e considerar os fatores de prevenção da corrosão, visto que as empresas podem ser construídas em áreas consideradas mais propícias a desencadear o processo corrosivo (PANNONI, 2015).

Muitos meios podem ser empregados para proteger os metais, como os revestimentos orgânicos e metálicos, a proteção catódica, o uso de ligas metálicas especiais, entre outros, minimizando a ação desse processo espontâneo (REVIE; UHLIG, 2008). Os metais expostos às intempéries tendem naturalmente a completar o seu ciclo retornando ao minério que é a sua forma de origem (ROBERGE, 2008).

Oliveira (2012) em sua pesquisa classifica as diferentes formas da corrosão em: galvânica, alveolar, intersticial ou uniforme. Essa classificação determina quais técnicas e mecanismos são mais apropriados para reduzir as taxas de corrosão. A corrosão atmosférica é

caracterizada pela sua uniformidade e fácil mensuração ao longo do tempo, pois em determinados materiais a perda de matéria se torna evidente (PANNONI, 2015).

Segundo Sica *et al.* (2007), a corrosão atmosférica está mais presente em regiões costeiras, onde o nível de concentração de íons de cloreto é mais elevado e os ventos transportam névoas salinas do mar formando o fenômeno conhecido como maresia. A maresia pode ser classificada em níveis preconizados pela *International Organization for Standardization* (ISSO) 12944-2:2017, conforme Figura 1, variando de C1 a C5-I (Industrial) e C5-M (Marinha), sendo C5 o nível de maior agressividade atmosférica.

Neste trabalho, o Porto do Açu que está situado no norte do estado do Rio de Janeiro tem incidência significativa do efeito da maresia e pode ser classificado com o nível C5-M, de acordo com a norma informada.

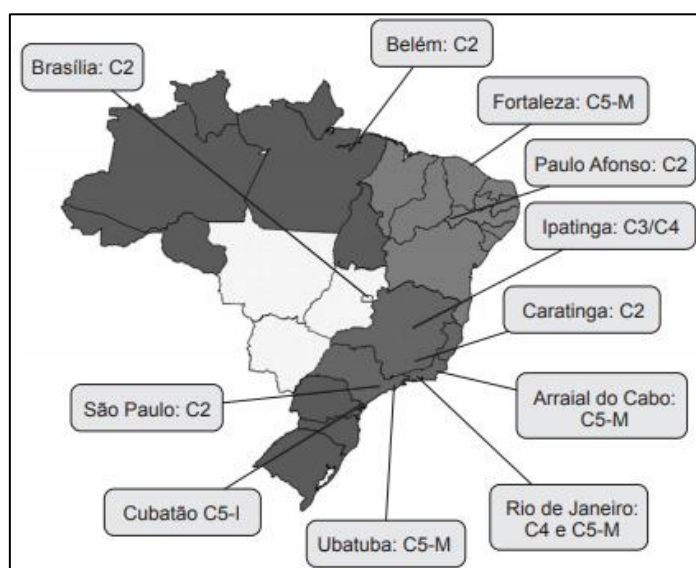


Figura 1. Agressividade da corrosão atmosférica em algumas cidades brasileiras à luz das normas ISO 12944-2:2017 e ISO 9226:2012.

Fonte: Pannoni (2015).

Os portos no mundo são severamente afetados pela maresia, entretanto os estudos em sua grande parcela focam na análise dos impactos causados apenas nas estruturas de acostagem (PEIXOTO, 2014). Natesan *et al.* (2008), em sua pesquisa em extensão global afirmam que há poucos estudos que avaliam os impactos da corrosão atmosférica em áreas industriais instaladas em portos e zonas costeiras, mesmo sabendo que economicamente os impactos são severos.

De acordo com Ostroski (2019), não há registros contábeis disponíveis com os custos da corrosão nos portos brasileiros. Silva *et al.* (2018), corroboraram em sua pesquisa conduzida no Porto do Açu demonstrando que os problemas oriundos da corrosão atmosférica ainda não são considerados por parte dos gestores como uma estratégia financeira, sendo os seus custos, portanto, uma variável ainda desconhecida.

As imagens da Figura 2, retratam os problemas no Porto do Açu decorrentes das névoas salinas que são depositadas ano após ano sob as estruturas metálicas e evidentemente não tratadas, de acordo com os níveis de corrosão presentes no complexo portuário.



Figura 2. Perda evidente de matéria em estrutura metálica em empresa do Porto do Açu.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Segundo Koch *et al.* (2016), os custos globais de corrosão em 2013 atingiram a faixa de US\$ 2,5 trilhões, equivalentes a 3% do PIB (produto interno bruto) mundial. Dados de uma das conferências sobre corrosão realizada no Canadá e apoiada pela *National Association of Corrosion Engineers* (NACE) demonstram que em 2016 os custos globais seguem estimados na mesma faixa de US\$ 2,5 trilhões (CORROSION CONFERENCE AND EXPO, 2016). Com práticas de controle de corrosão estima-se que podem ser geradas economias entre as faixas de 15 a 35% (GENTIL, 2011; CORROSION CONFERENCE AND EXPO, 2016).

Gentil (2011) complementa ainda que as perdas econômicas são classificadas em diretas e indiretas. As diretas são compostas pelos custos de substituição de peças e equipamentos, e as indiretas estão relacionadas às consequências e são mais complexas de serem mensuradas, como por exemplo, perda de eficiência do processo produtivo, o que por

consequência poderia trazer valores ainda maiores que os apresentados pelos estudos da NACE.

1.2 Caracterização do Problema

São João da Barra é um município do estado do Rio de Janeiro, região Norte Fluminense, que abriga o Complexo Portuário do Açú (CPA). O CPA, conceito porto-indústria, foi um projeto realizado pelo grupo EBX com investimentos da ordem de R\$ 10 bilhões e está em operação desde 2014. Ocupando uma área de aproximadamente 130 km², conforme Figura 3, o CPA opera com terminais de Minério de Ferro, Petróleo, Combustíveis Marítimos, Multicargas, Serviços integrados para Óleo & Gás e multinacionais Edison Chouest, NOV, TechnipFMC e Intermoor (PORTO DO AÇU, 2021).



Figura 3. Imagem aérea do Complexo do Porto do Açú.

Fonte: Porto do Açú (2021).

O CPA está localizado em região de alta agressividade atmosférica conforme indicação geográfica apresentadas pelas normas ISO 12944-2:2017 e ISO 9226:2012, o qual está sujeito, portanto, aos danos causados pelo fenômeno da corrosão a um nível elevado. Diversas são as formas de reduzir os impactos da corrosão, onde as técnicas de engenharia e pesquisa operacional assumem um importante papel para auxiliar os gestores na decisão de escolha dos

métodos e soluções mais apropriados para cada caso, os quais segundo Gentil (2011), vão desde a escolha de ligas metálicas especiais à aplicação de métodos de proteção anticorrosiva em materiais com menor desempenho à corrosão, como por exemplo os revestimentos orgânicos.

De acordo com Pannoni (2015), são vários os problemas desencadeados pela corrosão caso estes não sejam tratados no início, tornando-se necessário mais investimentos por parte das empresas no que tange o controle e gastos com manutenções de equipamentos, aquisição de materiais com níveis de qualidade superiores. Todos esses fatores destacam os impactos diretos nas questões econômicas das empresas, o que realça a necessidade de evitar a corrosão.

Segundo estudos conduzidos pela Revista Fator Brasil (2016) e Revista Grandes Construções (2017), em 2015 a corrosão ou ferrugem, como é comumente conhecida, custou R\$ 236 Bilhões ao país, aproximando de 4% do valor do PIB, o que inclui todos os setores econômicos do Brasil, não discriminando os custos específicos para portos e regiões costeiras. Os impactos são maiores nas regiões litorâneas, onde os níveis da corrosão podem chegar a 150 vezes mais quando comparados com zonas rurais (Revista Fator Brasil, 2016).

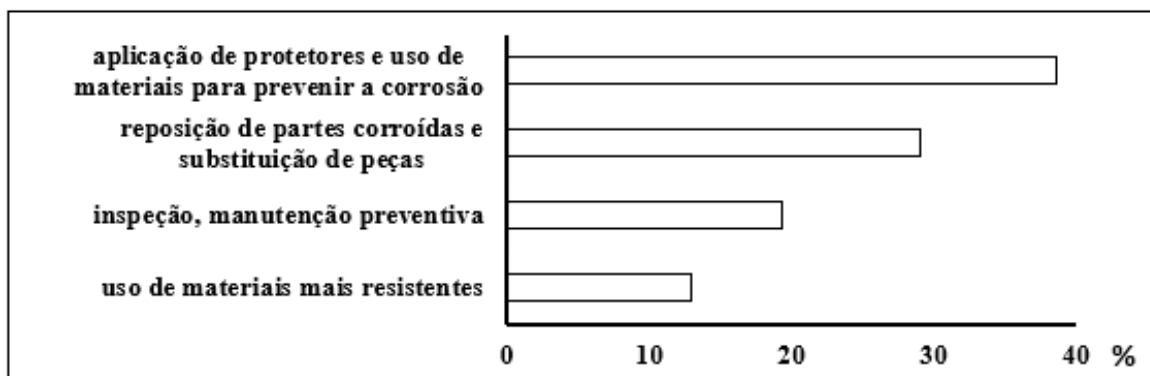
Dados da resolução 2969 da ANTAQ (Agência Nacional de Transportes Aquaviários) de 4 de julho de 2013 apresentam dentro do Brasil um total de 235 instalações portuárias, públicas e privadas, suscetíveis aos impactos da corrosão atmosférica (SILVA, 2019).

Silva (2019), em sua pesquisa realizada no Porto do Açu, corrobora com essa análise, evidenciando através de questionários aplicados aos gestores de várias empresas do CPA, que o problema de corrosão atmosférica pode não ter sido considerado na fase de implantação das empresas, o que se tornou então uma problemática, por já começar a afetar os resultados financeiros com custos não previstos de manutenção e substituição de equipamentos e estruturas.

Ainda Silva (2019), aponta através do gráfico 1 que as empresas do CPA de alguma forma vem reagindo aos efeitos da corrosão atmosférica, mesmo que de maneira não sistêmica.

As ações mais frequentes tomadas por essas empresas são: a aplicação de protetores, como tintas e vernizes, correspondendo a 39% de citação no questionário aplicado às empresas, 29% dos respondentes confirmaram apenas substituir as peças danificadas sem se preocupar com a proteção contra corrosão e 19% confirmaram trabalhar de maneira preventiva. Na última posição, com 13%, os respondentes confirmaram adotar materiais com melhor desempenho à corrosão na fase de concepção de um novo equipamento ou estrutura.

Gráfico 1. Reações das empresas do CPA aos efeitos da corrosão.



Fonte: Silva (2019).

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

O presente trabalho tem o objetivo de propor métodos adequados para o tratamento preventivo à corrosão de peças e materiais em empresas instaladas no Complexo Portuário do Açu, RJ. Um modelo multicriterial, baseado nos métodos ELECTRE III e AHP (do inglês, *Analytic Hierarchy Process*), foi empregado para criar uma classificação ordenada de tratamentos anticorrosivos a serem aplicados em uma planta de operação industrial que sofre os impactos da corrosão atmosférica.

1.3.2 Objetivo Específico

Os objetivos específicos deste trabalho são:

- I. Mapear através de pesquisa operacional quais são os equipamentos e estruturas da planta industrial alvo desta pesquisa que requer maior grau de atenção em relação aos impactos da corrosão atmosférica;
- II. Definir quais os tipos de tratamento anticorrosivos ou ações mitigadoras serão considerados para o tratamento do problema de corrosão da indústria escolhida para a pesquisa;

- III. Empregar o método multicritério de apoio à decisão AHP na ponderação de pesos dos critérios usados no problema; e então aplicar o MCDA (do inglês, *Multi-Criteria Decision Analysis*) Electre III para ranquear os tipos de tratamento mais aderentes para solução dos problemas de corrosão nos equipamentos e estruturas selecionados como prioritários;
- IV. Disponibilizar um modelo que possa ser aplicado aos demais processos dessa planta industrial, assim como para as demais organizações que compõem o complexo do Porto do Açú ou que possam vir a integrá-lo no futuro, sendo necessário adaptar o modelo para as situações específicas de cada empresa.

1.4 Relevância

Este trabalho tem por finalidade apresentar uma Pesquisa realizada em uma indústria em operação há 9 anos no complexo do Porto do Açú, que vem sofrendo impactos financeiros e que pode vir a sofrer impactos na saúde e segurança dos trabalhadores ali instalados, devido à exposição aos riscos desencadeados pelos efeitos da corrosão atmosférica.

Ao mitigar os impactos desse fenômeno, poderá haver um aumento na vida útil dos equipamentos e estruturas, o que conseqüentemente demandará menor fluxo de caixa a ser aplicado em reparo e/ou substituição de peças, máquinas e estruturas que não foram provisionados.

Será possível também alcançar um aumento de disponibilidade desses equipamentos, evitando paradas indesejadas e não previstas, as quais podem impactar na capacidade produtiva dessa planta industrial. Por fim, este trabalho é justificado por permitir uma melhoria no desempenho econômico desta empresa, o que poderá representar manutenção na empregabilidade, contribuindo para a economia local e sociedade num âmbito geral.

2 REVISÃO DE LITERATURA

A revisão de literatura foi conduzida através de pesquisa bibliográfica para levantamento do estado da arte em trabalhos científicos publicados na área de interesse. Para a

pesquisa foram utilizados mecanismos de busca na base *Scopus*®, que é uma base de artigos, revistas científicas, conferências e livros. Utilizou-se três áreas de conhecimento nesse mecanismo de busca com as seguintes palavras-chave: corrosão atmosférica, método multicritério e área portuária. Aplicou-se tesouros com a finalidade de ampliar o alcance da busca, sendo estes expressos no Quadro 1.

Quadro 1. Palavras-chave para busca na base SCOPUS.

A	("Atmospheric corrosion" OR "marine corrosion" OR "sea water" OR "sea air")
B	(MCDA OR multicrit* OR "multi-criteria" OR "multiple-criteria")
C	("port area" OR "seaport" OR "port" OR "port industr*")

Fonte: Elaborado pelo autor.

Para buscar artigos científicos que associam os temas **corrosão atmosférica** e **método multicritério** utilizou-se o seguinte *string* de busca:

$A \cap B$: (TITLE-ABS-KEY ("Atmospheric corrosion" OR "marine corrosion" OR "sea water" OR "sea air") AND TITLE-ABS-KEY ("MCDA" OR "multicrit*" OR "multi-criteria" OR "multiple-criteria")). Este algoritmo retornou 39 documentos.

Para buscar artigos científicos que associam os temas **corrosão atmosférica** e **área portuária** utilizou-se o seguinte *string* de busca:

$A \cap C$: (TITLE-ABS-KEY ("Atmospheric corrosion" OR "marine corrosion" OR "sea water" OR "sea air") AND TITLE-ABS-KEY ("port area" OR "seaport" OR "port" OR "port industr*")). Este algoritmo retornou 775 documentos.

Para buscar artigos científicos que associam os temas **método multicritério** e **área portuária** utilizou-se o seguinte *string* de busca:

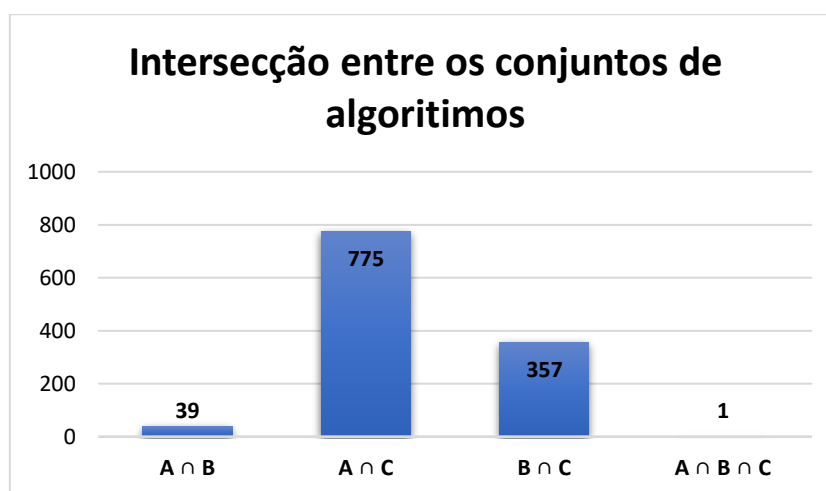
$B \cap C$: (TITLE-ABS-KEY ("MCDA" OR "multicrit*" OR "multi-criteria" OR "multiple-criteria") AND TITLE-ABS-KEY ("port area" OR "seaport" OR "port" OR "port industr*")). Este algoritmo retornou 357 documentos.

Para buscar artigos científicos que associam os temas **corrosão atmosférica**, **método multicritério** e **área portuária** usou-se o seguinte *string* de busca:

$A \cap B \cap C$: (*TITLE-ABS-KEY ("Atmospheric corrosion" OR "marine corrosion" OR "sea water" OR "sea air") AND TITLE-ABS-KEY ("MCDA" OR "multicrit*" OR "multi-criteria" OR "multiple-criteria") AND TITLE-ABS-KEY ("port area" OR "seaport" OR "port" OR "port industr*")*). Este algoritmo retornou 1 documento.

A intersecção entre os conjuntos A, B e C, resultou no Gráfico 2, quantificando as publicações realizadas até o terceiro trimestre do ano de 2021:

Gráfico 2. Resultados da busca na base SCOPUS.



Fonte: Elaborado pelo autor.

É possível observar no Gráfico 2, que através da busca de artigos científicos com a associação dos temas “corrosão” e “área portuária” foi obtido o maior número de documentos. Em contrapartida, destaca-se uma limitação de trabalhos científicos que abordam o tema proposto, sendo esta uma importante lacuna para a presente pesquisa, principalmente na intersecção das três áreas de conhecimento, as quais retornaram apenas 1 documento.

Neste único documento apontado na busca pela associação dos temas corrosão atmosférica, método multicritério e área portuária, os autores aplicaram os métodos multicriteriais AHP e ELECTRE-I para solução de problemas relacionados à poluição por óleo, com o objetivo de selecionar os pontos da cidade costeira de Bandar Abba mais suscetíveis à esse tipo de contaminação (MANDAVI *et al.*, 2017). Ainda na pesquisa de Mandavi *et al.* (2017), o método AHP foi utilizado para construir uma hierarquia de critérios a serem aplicados no ELECTRE-I. Os resultados apontaram as áreas ao redor do porto de Shahid Rajai, como as de maiores sensibilidade à poluição por óleo.

2.1 Corrosão

Os metais e ligas metálicas estão presentes no contexto de todas as indústrias e cotidiano das pessoas, por possuírem boas propriedades mecânicas e melhores custos-benefícios, entretanto com riscos dos impactos da corrosão quando não protegidos (GENTIL, 2011). O aço-carbono, dentre as ligas metálicas, é apontado como o metal mais utilizado na indústria metalmeccânica (PANNONI, 2007). Cerca de 20% da sua produção destina-se à reposição de partes de equipamentos, peças e instalações prejudicadas pela corrosão (FRAUCHES-SANTOS *et al.*, 2014).

Pode-se admitir a corrosão como o inverso do processo metalúrgico, cujo o objetivo principal é a extração do metal a partir de seus minérios (PANNONI, 2007). Como resultado, o metal processado encontra-se em um nível energético acima do produto da corrosão, porém quando exposto às intempéries, desencadeia em reações tendendo de forma espontânea retornar a sua condição de origem, de mais baixa energia livre, conforme demonstrado pela Figura 4 (MOURA, 2009; CARDOZO, 2016; EMERENCIANO, 2017).

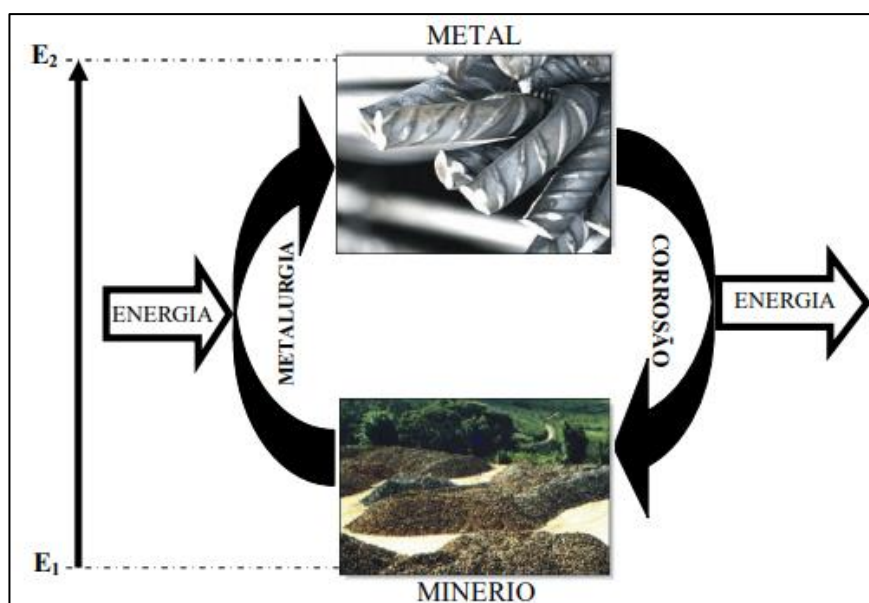


Figura 4. Ciclo corrosivo do aço carbono.

Fonte: Moura (2009).

Quando o processo de corrosão é decorrente da ação química, ocorre uma reação entre um metal com o Sulfeto de Hidrogênio (H_2S), conforme representado pela Figura 5. Na etapa inicial ocorre a adsorção do gás H_2S na superfície do ferro e em seguida o ataque, formando uma película de sulfeto ferroso FeS (MOURA, 2009; FRAUCHES-SANTOS *et al.*, 2014).

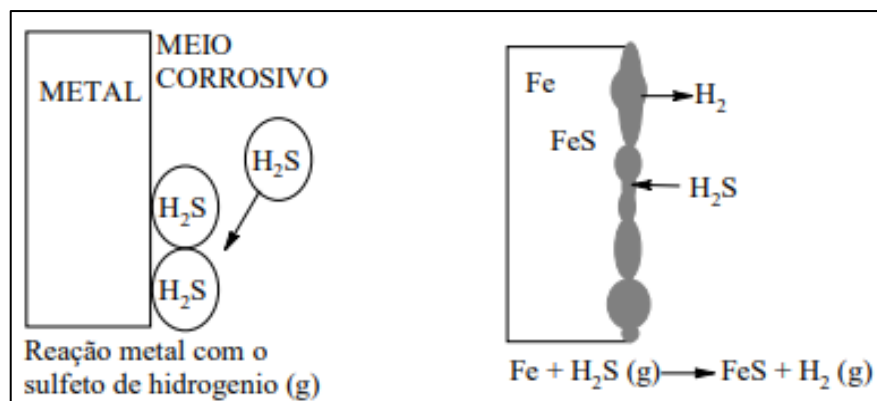


Figura 5. Exemplo de um processo de corrosão química.

Fonte: Moura (2009).

2.1.1 Corrosão Atmosférica

Compreender os mecanismos e meios da corrosão é de fundamental importância para se ter o melhor controle do desencadeamento da corrosão e dos agentes considerados corrosivos que estão envolvidos nesse processo. De uma maneira geral os materiais podem ser expostos aos meios que podem desencadear o processo corrosivo, como a água, o solo, a atmosfera e os produtos químicos (FRAUCHES-SANTOS *et al.*, 2014).

Dentre os meios corrosivos mais frequentemente encontrados, a atmosfera é considerada um meio de corrosão que ocorre numa incidência de grande relevância onde a umidade sofre o processo de condensação nas superfícies dos metais (PANNONI, 2007).

Segundo Gentil (2011) e Shreir (1979), a corrosão atmosférica pode ser classificada em função do grau de umidade na superfície metálica, sendo essa: seca, úmida e molhada, conforme Quadro 2:

Quadro 2. Classificação de corrosão atmosférica.

Corrosão atmosférica seca	<ul style="list-style-type: none"> • Isenta de umidade; • Lenta oxidação do metal.
Corrosão atmosférica úmida	<ul style="list-style-type: none"> • Umidade relativa menor que 100%; • Formação de fino filme de eletrólito; • Velocidade do processo corrosivo depende da umidade relativa e poluentes atmosféricos.
Corrosão atmosférica molhada	<ul style="list-style-type: none"> • Umidade relativa perto de 100% ocorrendo condensação na superfície metálica; • Depósito de névoa salina na superfície do material.

Fonte: Adaptado de Gentil (2011).

A maresia, ou spray aerossol de gotas salinas, presentes principalmente em regiões litorâneas é uma das variações de corrosão atmosférica mais agressivas, que são transportadas pela ação dos ventos em direção ao litoral após as ondas do mar sofrerem nebulização, causando elevada oxidação por conter alto teor de sais minerais em suas partículas (MONAHAN; NIOCAILL, 2013).

Sanjuan (2009) e Moreira *et al.* (2016), mostraram através de um experimento com gota salina, como estão relacionados os conceitos fenomenológico, transferência de elétrons e semirreações de oxidação e redução. Esse experimento consiste em colocar uma gota de solução aquosa de cloreto de sódio, fenoltaleína e ferricianeto de potássio em uma tampinha de garrafa finamente lixada, desencadeando uma reação eletroquímica representada pela Figura 6.

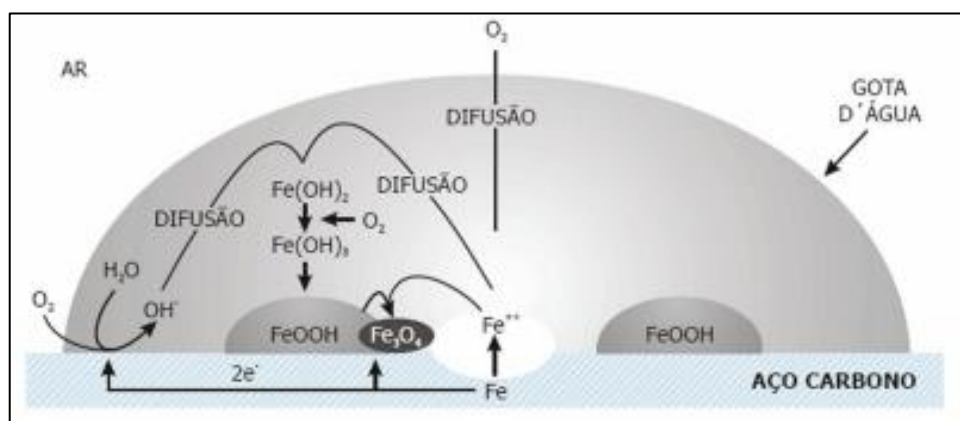
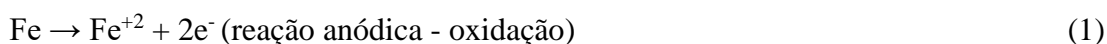


Figura 6. Representação da transformação que ocorre no metal na presença da gota salina.

Fonte: Sanjuan (2009).

Segundo Sanjuan (2009), na superfície da tampinha de garrafa, ocorre a reação de oxidação evidenciada pelo aparecimento de uma coloração azul, indicando a presença de íons ferrosos, conforme Figura 7-b. A reação de oxidação do ferro (Fe) faz com que ele perca elétrons e conseqüentemente, esta será a região anódica da pilha de corrosão formada, representada pela Equação (1).



Moreira *et al.* (2016), explicam que o indicador fenolftaleína adquire coloração rósea pela formação íons hidroxila ocasionado pelo consumo de oxigênio dissolvido na água. Equação (2). O oxigênio ganha elétrons, sendo portanto, a região catódica da pilha de corrosão, ou também conhecida como reação de redução do oxigênio em água (SANJUAN, 2009).



As duas reações representadas pelas Equações (1) e (2) ocorrem simultaneamente em decorrência da passagem de corrente elétrica, seguindo o fluxo da região anódica para a região catódica. A interação entre estas regiões e o oxigênio presente no meio leva à formação de um composto intermetálico insolúvel, visto na Figura 7-f, Equação (3), bem como da reação eletroquímica, Equação (4), produto da corrosão visto na Figura 7-g (MOREIRA *et al.*, 2016).

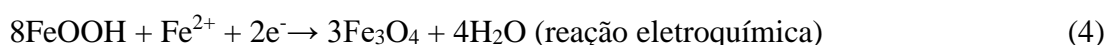
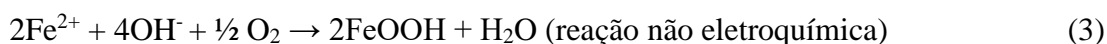




Figura 7. Modificações na superfície metálica observadas ao longo do ensaio da gota salina em função do tempo. Onde: (a) imediatamente após deposição da gota; (b) após 2 minutos; (c) após 5 minutos; (d) após 8 minutos, (e) após 13 minutos e (f) após 30 minutos.

Fonte: Moreira *et al.* (2016).

A ISO 9223:2012 classifica a corrosão atmosférica em categorias de corrosividade. Estas são expressas através de taxas de corrosão ou perda de matéria ao longo do primeiro ano de exposição, conforme Tabela 1.

Tabela 1. Categorias de corrosividade atmosférica segundo dados da ISO 9223.

Categoria de Corrosividade	Unidades	Aço Carbono	Zinco	Cobre	Alumínio
C1	g/m ² /ano	≤ 10	≤ 0,7	≤ 0,9	Desprezível
	µm/ano	≤ 1,3	≤ 0,1	≤ 0,1	-
C2	g/m ² /ano	10 – 200	0,7 – 5	0,9 – 5	≤ 0,6
	µm/ano	1,3 – 25	0,1 – 0,7	0,1 – 0,6	-
C3	g/m ² /ano	200 – 400	5 – 15	5 – 12	0,6 – 2
	µm/ano	25 – 50	0,7 – 2,1	0,6 – 1,3	-
C4	g/m ² /ano	400 – 650	15 – 30	12 – 25	2 – 5
	µm/ano	50 – 80	2,1 – 4,2	1,3 – 2,8	-
C5	g/m ² /ano	650 – 1500	30 – 60	25 – 50	5 – 10
	µm/ano	80 – 200	4,2 – 8,4	2,8 – 5,6	-

Fonte: ISO 9223 (2012).

2.1.2 Principais Formas de Corrosão

De acordo com Pannoni (2007), são diversas as formas que a corrosão pode apresentar, e sua classificação pode ser realizada conforme a aparência do material que foi corroído. No entanto, certas formas de corrosão não são visíveis sem o auxílio de ferramentas especiais de inspeção (ROBERGE, 2008).

Roberge (2008) agrupou a corrosão em três diferentes categorias, todas susceptíveis à inspeção, e cada categoria apresenta as formas específicas da corrosão, conforme figura 8.

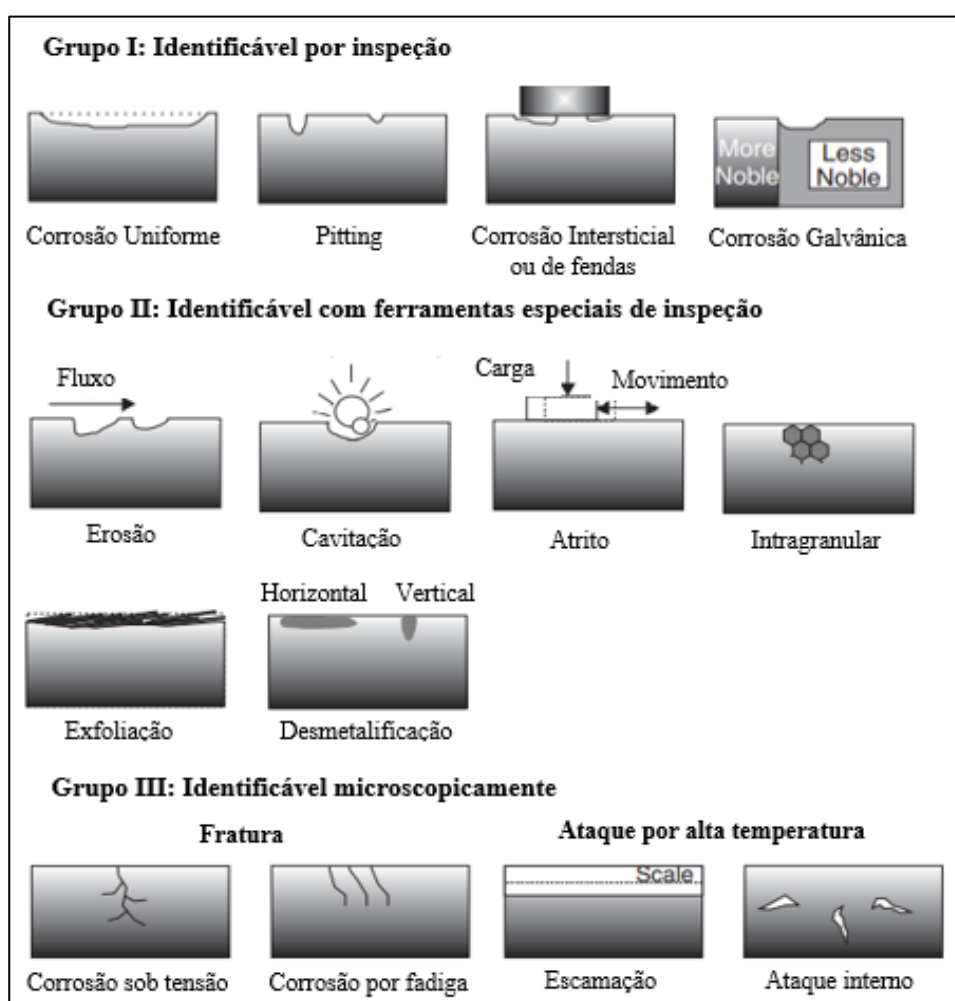


Figura 8. Principais formas de ataque de corrosão reagrupadas para facilitar a sua identificação.

Fonte: Adaptado de Roberge (2008).

Ainda Roberge (2008), define cada grupo a seguir:

Grupo I: **Identificável por inspeção visual**

- a) Corrosão uniforme: caracterizada por perda de matéria regularmente distribuída na superfície do material, conforme figura 9a.
- b) Corrosão por pite e corrosão Intersticial: ocorre em áreas discretas e são apresentadas em formas de fendas pontuais, conforme figura 9b.
- c) Corrosão galvânica: ocasionada pelo contato elétrico entre condutores diferentes em um eletrólito.

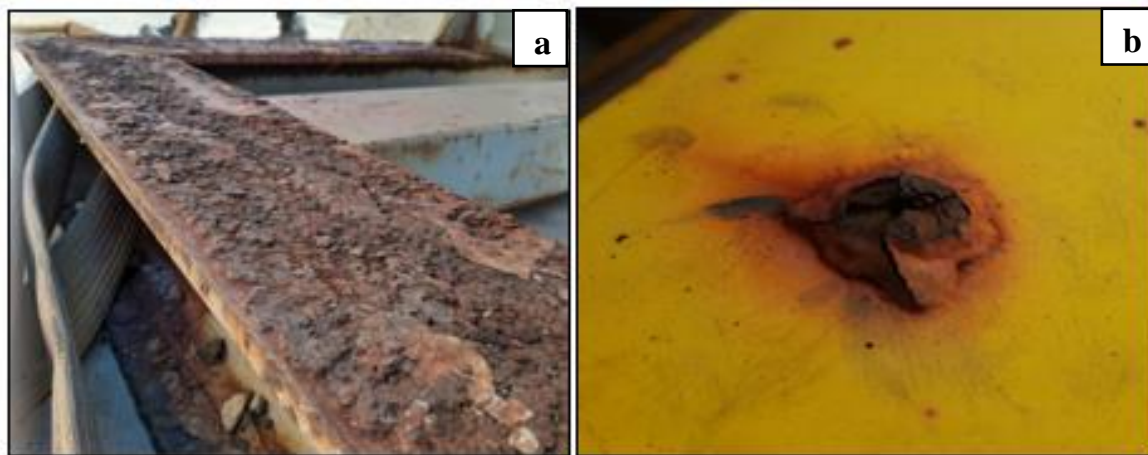


Figura 9. Formas de corrosão uniforme e por pite respectivamente, identificadas nos equipamentos da empresa em estudo.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Grupo II: **Identificável com ferramentas especiais de inspeção**

- a) Corrosão por erosão, cavitação e por atrito: caracterizada pelo fluxo, velocidade e pressão de um meio externo sobre a superfície do material.
- b) Corrosão intragranular e por exfoliação: ocorre nos limites de grãos da estrutura do metal sendo atacado.
- c) Corrosão por desmetalificação ou lixiviação seletiva: corrosão devido à dissolução seletiva de uma liga do metal, conforme figura 10.

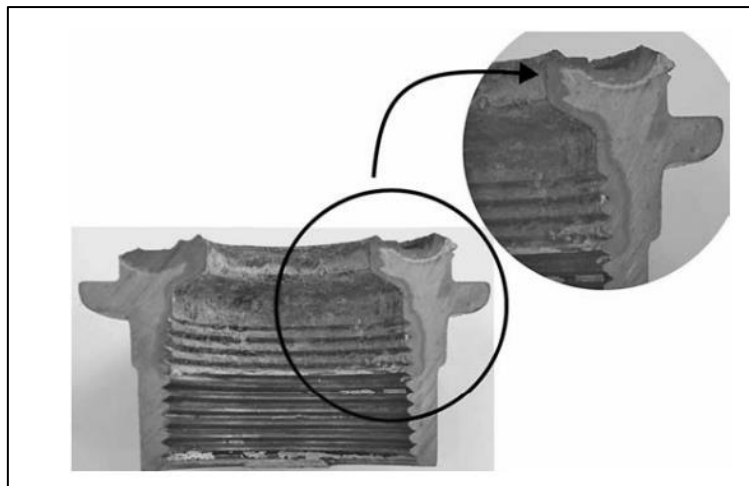


Figura 10. Desmetalificação: Camada de dezincificação de uma conexão de latão.

Fonte: Roberge (2008)

Grupo III: Corrosão que pode demandar meios microscópicos para sua identificação

- a) Corrosão sob tensão e por fadiga: é um fenômeno mecânico potencializado por ambientes corrosivos não específicos. A falha é induzida em um material dúctil sob tensão de tração, conforme figura 11.
- b) Corrosão por escamação e ataque interno: ocasionada pelo contato do material a temperaturas acima do seu limite térmico.



Figura 11. Corrosão sob tensão causada em um monumento de bronze por acúmulo de ferrugem em torno de uma barra de ferro.

Fonte: Roberge (2008).

Procópio (2019) e Khan *et al.* (2020), apresentaram em sua pesquisa formas de corrosão adicionais mais complexas, provocadas por ações microbianas e pela formação do ácido naftênico:

- a) Corrosão microbiana: ocorre devido a presença de bactérias e micróbios que produzem resíduos como CO_2 e H_2S , bem como ácidos orgânicos, formando um biofilme que corroem gradualmente equipamentos principalmente submarinos, conforme figura 12.

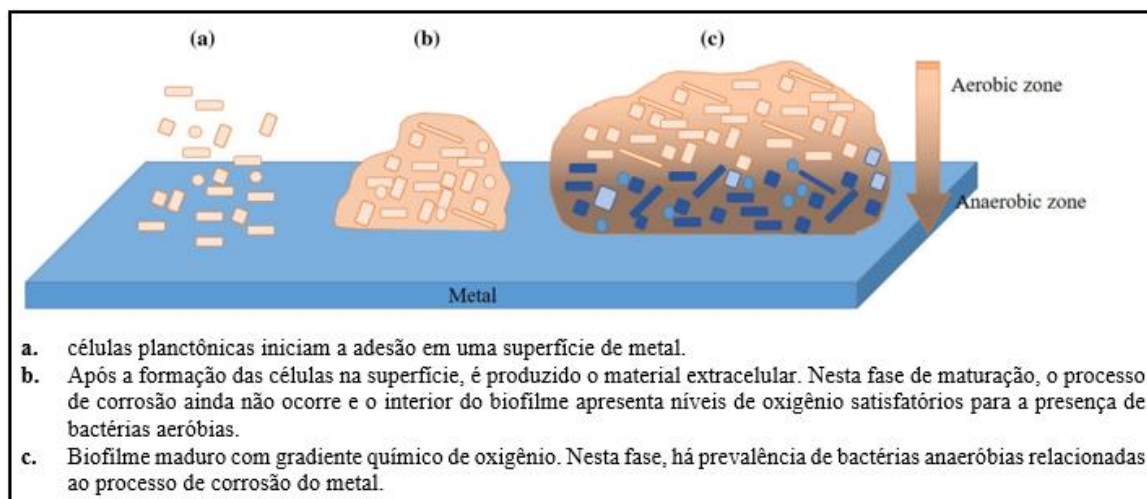


Figura 12. Fases de crescimento do biofilme na superfície do metal.

Fonte: Procópio (2019).

- b) Corrosão por ácido naftênico: comumente identificadas nas indústrias de refinaria de petróleo, o ácido naftênico pode afetar rapidamente a estrutura dos materiais metálicos através de um processo não aquoso de corrosão (KHAN *et al.*, 2020).

Morais *et al.* (2017) e Fernandes *et al.* (2019) demonstraram em suas pesquisas através de prospecção tecnológica e científica com plantas nativas brasileiras, o própolis e a *Unxia kubitzkii* H. Rob, que o óleo extraído e processado desses vegetais podem ser aplicados como inibidores de corrosão, demonstrando uma oportunidade em potencial de formulação de produtos biotecnológicos igualmente seguros e com baixo custo de comercialização para tratar os problemas de corrosão em certos materiais.

2.1.3 Métodos para Controle da Corrosão

Segundo Gentil (2011), a corrosão pode ser controlada por alguns métodos práticos, que podem ser baseados na modificação dos processos, na modificação do meio corrosivo, na modificação do metal base ou na aplicação de revestimentos protetores, seja permanente ou temporário.

Os métodos e técnicas de proteção contra a corrosão comumente aplicados nas indústrias para passivação ou polarização da superfície dos materiais metálicos podem incluir revestimentos e inibidores, proteções catódicas ou anódicas em casos onde se é possível aplicá-las (FRAUCHES-SANTOS *et al.*, 2014).

Em geral os inibidores de corrosão são provenientes de formulações químicas, as quais trazem consequências para o meio ambiente, seja em sua aplicação ou durante o seu descarte (PROCÓPIO, 2019). Inibidores de origem vegetal aparecem como uma solução economicamente e ambientalmente viáveis (FELIPE *et al.*, 2013; MORAIS *et al.*, 2017; FERNANDES *et al.*, 2019).

A seleção de materiais com composições químicas ou revestimentos mais nobres, como por exemplo o aço inoxidável, pode ser adotado em situações em que seu investimento e condições de operações justifiquem a sua operacionalidade (JUNIOR; JUNIOR,; HORA, 2019).

A corrosão também pode ser controlada quando ela se torna parte do escopo de desenvolvimento de diferentes projetos de estruturas e equipamentos, evitando frestas entre as conexões, inpingimentos, superfícies irregulares e cantos vivos por exemplo, os quais facilitam a instalação da corrosão (PANNONI, 2007).

Gentil (2011) corrobora com o estudo de Pannoni (2007) descrevendo algumas medidas para prevenção dos efeitos indesejados da corrosão ainda na fase de projeto e construção de um determinado equipamento ou instalação:

- Utilizar soldas bem acabadas e aliviadas de tensões;
- Evitar contato de materiais com potenciais elétricos diferentes, o que resulta na corrosão galvânica, conforme figura 13;
- Evitar cantos vivos onde os revestimentos tendem a trincar e deslocar de forma célere (tinta epóxi por exemplo);

- Facilitar a drenagem de águas ou substâncias corrosivas, conforme figura 13.

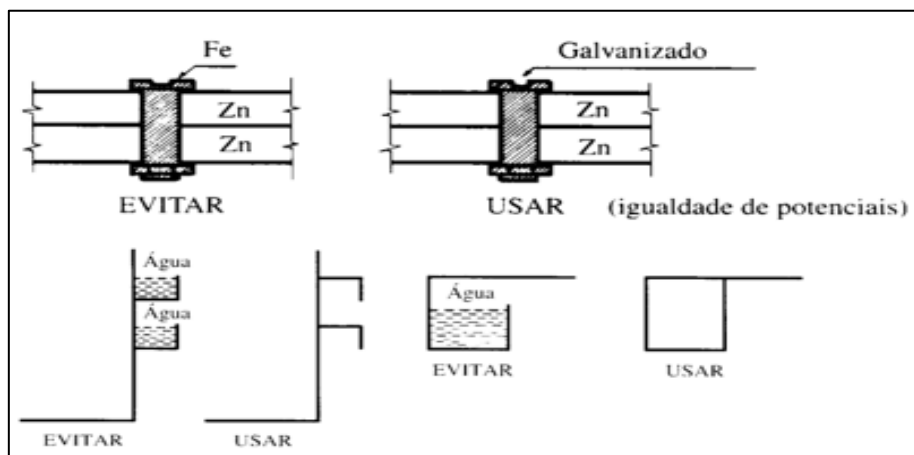


Figura 13. Modificações de processo, de propriedade de metais e de projetos.

Fonte: Gentil (2011).

2.1.3.1 Revestimentos de Superfície Metálicas

Segundo Gentil (2011), a escolha do revestimento metálico dependerá de alguns fatores, tais como a resistência requerida, aplicação do material, endurecimento da superfície para reduzir desgastes como por exemplo o atrito, ou até a combinação de dois ou mais fatores.

O quadro 3 a seguir traz alguns dos revestimentos mais comumente encontrados para proteção das diferentes ligas metálicas, sem apontar os custos envolvidos em cada processo:

Quadro 3. Revestimentos metálicos comumente aplicados na indústria metal mecânica.

Revestimento	Aplicações e Principais características
Cladização ou Cladeamento	<ul style="list-style-type: none"> • Aplicação em indústrias químicas; • Obtida através da laminação a quente conjunta do metal base e o revestimento, pelo processo de explosão ou por solda; • Materiais de revestimento comumente aplicados: alumínio e aço inoxidável.
Imersão à Quente	<ul style="list-style-type: none"> • Aplicação nas variadas indústrias; • Obtido através de imersão do material base em um banho de metal fundido; • Materiais de revestimento comumente aplicados: Zinco (Galvanização), Alumínio (Aluminização), cobre (<i>cooperweld</i>).
Aspersão térmica (metalização)	<ul style="list-style-type: none"> • Aplicação em menor escala;

	<ul style="list-style-type: none"> • Obtida através da aplicação de um revestimento metálico ou não metálico, usando uma pistola de aspersão ou metalização em altas temperaturas, a qual deposita o material na superfície do metal base; • Depósito de névoa salina na superfície do material.
--	--

Fonte: Adaptado de Gentil (2011).

Quináglia (2006) apresenta o níquel como um metal dúctil, maleável e com dureza relativa média, sendo de cor amarelada por circunstâncias da formação de uma camada óxido protetora. Gonzales (2016) complementa que o revestimento de níquel pode ser comercialmente encontrado como níquel metálico, óxido de níquel, cloreto de níquel, subsulfeto de níquel, hidróxido de níquel e sulfato de níquel.

Segundo Loto (2016), o revestimento metálico de níquel é um método robusto que pode fornecer uma alternativa tecnicamente viável para proteção contra corrosão principalmente em ambientes severamente impactados, como instalações *offshore*. Dentre suas propriedades estão: baixo atrito, dureza relativa superficial e resistência ao desgaste (IZADI; SHAHRABI; RAMEZANZADEH, 2017).

O processo de revestimento de níquel químico consiste na redução catalítica de íons de níquel em solução aquosa e subsequente deposição do níquel metálico, sendo esse processo realizado sem fontes de energia, garantindo espessuras uniformes (ROBERGE, 2008).

Ainda Roberge (2008), descreve o processo de galvanização de zinco por imersão a quente como sendo um processo versátil, principalmente pelo fato das banheiras de imersão de zinco fundido permitir que grandes estruturas já montadas sejam galvanizadas em um único processo, conforme figura 14.



Figura 14. Carrocerias automotivas sendo mergulhadas em banheiras de zinco fundido (imagem à esquerda) em seguida submergida em banheira de cataforese para eletrodeposição de revestimento (imagem à direita), demonstrando a versatilidade dos processos de imersão à quente.

Fonte: Lindner (2021).

2.1.3.2 Revestimentos Não Metálicos Inorgânicos

Revie e Uhlig (2008) e Gentil (2011) descrevem os revestimentos não metálicos inorgânicos como aqueles que são diretamente depositados sobre a superfície dos materiais metálicos. Os revestimentos mais comumente aplicados no combate à corrosão estão listados no Quadro 4.

Quadro 4. Revestimentos não metálicos inorgânicos comumente utilizados para proteção de materiais metálicos contra a corrosão.

Revestimento	Aplicações e Principais características
Esmaltes vitrosos e vidros	<ul style="list-style-type: none"> • Aplicação em indústrias químicas e nucleares; • Materiais de revestimento comumente aplicados em: tubulações e reatores.
Cimentos e porcelanas	<ul style="list-style-type: none"> • Aplicação nas variadas indústrias; • Materiais de revestimento comumente aplicados em: tanques de armazenamento e tubulações de condução de água salgada.
Anodização	<ul style="list-style-type: none"> • Aplicação em indústrias de construção civil e aeronáutica; • Obtida através de processos químicos de oxidação eletrolítica colocando o metal como ânodo. Processo mais usado em alumínio; • Materiais de revestimento comumente aplicados em: esquadrias e portas, tubulações diversas utilizadas na construção civil.
Cromatização	<ul style="list-style-type: none"> • Aplicação nas variadas indústrias; • Obtida através de soluções químicas contendo cromatos ou ácido crômico; • Materiais de revestimento comumente aplicados em: parafusos e conexões, peças automotivas e superfícies de acabamento.
Fosfatização	<ul style="list-style-type: none"> • Aplicação nas variadas indústrias; • Obtido através de processos químicos com banho de fosfatos de zinco, ferro e manganês, tanto na forma de fosfatos neutros quanto monoácidos; • Materiais de revestimento comumente aplicados em: parafusos e conexões e elementos de máquinas.

Fonte: Adaptado de Gentil (2011); Revie e Uhlig (2008).

2.1.3.3 Revestimentos Não Metálicos Orgânicos – Tintas e Polímeros

Os revestimentos não metálicos orgânicos são películas aplicadas sobre a superfície do material que fornecem uma barreira entre o meio corrosivo e o metal, podendo ou não conter em sua composição pigmentos inibidores anódicos, como cromato de zinco (GENTIL, 2011).

Mardare *et al.* (2016) apresentam os protetores a base de polímeros como um dos mais aplicados no campo naval e *offshore*. Em sua pesquisa eles compararam o processo corrosivo através de ensaios eletroquímicos em liga de aço naval EN32 em três condições: sem revestimento protetor, com revestimento polimérico tipo primer e com revestimento primer mais a camada de tinta epóxi a base de poliuretano, conforme figura 15.

Os resultados apontaram os revestimentos poliméricos com maior resistência à polarização em comparação com o aço naval EN32 não revestidos, sugerindo uma maior resistência à corrosão. O revestimento polimérico aumentou, portanto, significativamente a vida útil do aço naval, reduzindo o custo de manutenção.

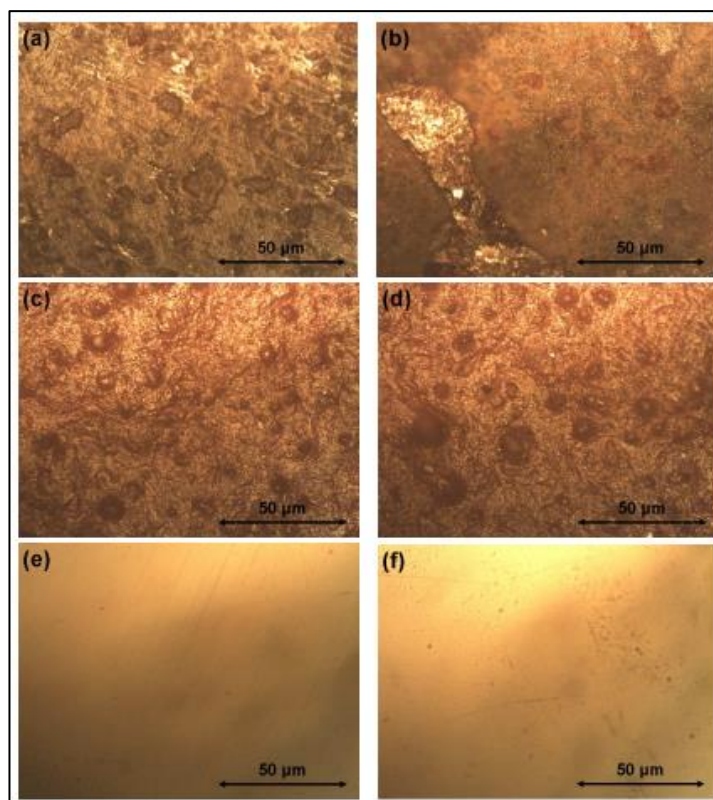


Figura 15. Imagens microscópicas do teste realizado em aço naval EN32. (a, b) EN32 não revestido (c, d) EN32 com aplicação de base polimérica de primer (e, f) EN32 revestido com primer e mais camada final de tinta epóxi.

Fonte: Mardare *et al.* (2016).

Diversas normas nacionais e internacionais preconizam os diferentes protetores a base de polímeros, demonstrando a relevância desse sistema contra os processos corrosivos nos mais diversos ambientes (MERIMI; A. AOUNITI; HAMMOUTI, 2020).

As normas europeias *Norsk Søkkel Konkurransesystem* (NORSOK), Norsok M-501 e ISO 12944:2017 especificam o preparo da superfície dos materiais e o método de aplicação dos sistemas de pinturas, trazendo importantes parâmetros para seleção do sistema de proteção mais apropriado à cada aplicação, incluindo informações técnicas sobre saúde, segurança e proteção ambiental (NORSOK M-501, 2012; ISO 12944-1:2017, 2018).

A Petrobras, indústria referência no ramo de petróleo, traz um portfólio de normas que tratam a proteção de seus equipamentos. A norma N-1735 especifica o padrão de pintura de máquinas, equipamentos elétricos e instrumentos. A norma N-1550 trata a pintura de estruturas e a norma N-0013 dispõe sobre os requisitos técnicos dos serviços de pintura (PETROBRAS, 2019; PETROBRAS, 2016; PETROBRAS, 2016).

2.1.3.4 Inibidores de Proteção Temporária

Os inibidores de corrosão ou de proteção temporária são produtos químicos que reagem com a superfície do metal para eliminar as reações químicas, e são aplicados diretamente na superfície do metal, formando uma película protetora, conforme Figura 16 (ARAÚJO; SILVA, 2019).



Figura 16. Protetor temporário aplicado em parafusos tipo estojo.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os inibidores caracterizados como provisórios ou temporários são amplamente aplicados principalmente na fase de estocagem e transporte de materiais metálicos (HABIB; SHAKOOR; KAHRAMAN, 2021). Sabe-se também que esses inibidores podem ser aplicados nos processos produtivos onde o projeto permite o seu uso (LYON; BINGHAM; MILLS, 2017).

Gentil (2011) classifica os inibidores temporários em quatro grupos conforme Tabela 2:

Tabela 2. Grupos de protetores temporários anticorrosivos.

Grupos	Tipo	Características	Aplicação
I	Diluição em água	<ul style="list-style-type: none"> • Protetivos emulsionáveis e produtos químicos que por evaporação formam uma película oleosa; 	<ul style="list-style-type: none"> • Ambiente interno, para proteção de peças de ferro ou aço; • Proteção intermediária em processos de usinagem; • Pequeno tempo de armazenamento ou transporte.
II	Tipo óleo	<ul style="list-style-type: none"> • Óleos anticorrosivos para proteger superfícies metálicas expostas, elementos internos de máquinas, tanques de navios e similares. 	<ul style="list-style-type: none"> • Proteção de chapas, forjados, compressores, bombas, motores, caixas de engrenagens, dentre outros;
III	Diluição em solventes voláteis	<ul style="list-style-type: none"> • Líquidos anticorrosivos que após sua evaporação forma uma película protetora; • Oleosa e graxa do tipo não-secativa; • Semi-secativa, cerosa e firme; • Secativa dura, elástica e transparente; Plástica e facilmente destacável. 	<ul style="list-style-type: none"> • Proteção de máquinas, eixos, ferramentas, brocas, ferragens, dentre outros;
IV	Aplicados a quente	<ul style="list-style-type: none"> • Produtos à base de vaselina e ceras que forma uma película macia, espessa e graxosa; • Produtos termoplásticos formadores de película grossa, resistente e facilmente destacável. 	<ul style="list-style-type: none"> • Proteção de peças usinadas e retificadas, ferramentas, matrizes, tubos roscados e cabos de aço.

Fonte: Adaptado de Gentil (2011).

2.2 Método Multicritério de Apoio à Decisão

Os métodos multicritério de apoio à decisão trazem ferramentas para dar suporte aos decisores na solução de problemas em que diferentes pontos de vistas, até mesmo contraditórios, devem ser considerados na matriz de decisão (VINCKE, 1992).

Os problemas que demandam ferramentas para auxílio na tomada de decisão são em grande parte complexos, por não existir um critério singular que capture adequadamente o efeito ou impacto de cada alternativa (SAATY, 1987; SAATY, 2013), e não há um único tomador de decisão em grande parte dos problemas; em vez disso, a tomada de decisão em um dado projeto requer um consenso de um grupo de tomadores de decisão (BUCHANAN; SHEPPARD, 1999).

Buchanan *et al.* (1998) argumentaram que boas decisões são consequências de um bom processo decisório e sugerem que, sempre que possível, o subjetivo e partes objetivas do processo de decisão sejam separados.

Ainda Buchanan *et al.* (1998), descreveram um problema de decisão sendo composto por um conjunto de alternativas definidas objetivamente e um conjunto de critérios definidos subjetivamente. A relação entre as alternativas e os critérios é descrita por meio de atributos que descrevem, da forma mais objetiva possível, as características das alternativas que são relevantes para o problema de decisão.

Existem variadas ferramentas desenvolvidas para o apoio nas tomadas de decisões, cada qual com seus pontos fortes e fracos, cabendo ao tomador de decisão entender a complexidade das situações a qual dará o curso para a escolha do método multicritério mais aderente para tratar o problema (HORA; COSTA, 2015).

Dentro da evolução dos métodos multicriteriais (MCDA), destacam os métodos da Escola Americana e Escola Francesa (COSTA, 2006):

- Método de Borda;
- Método Condorcet;
- Método AHP;
- Métodos da família Electre;
- Método Promethè;
- Método Macbeth;

- Método TODIM, entre outros.

2.2.1 Método Analítico Hierárquico - AHP

O método Analítico Hierárquico AHP é um método de escala de razão usado para auxiliar as pessoas na tomada de decisão. Problemas complexos são estruturados hierarquicamente em critérios, subcritérios e alternativas a partir dos quais a escolha deve ser feita por um tomador de decisão ou um grupo de tomadores (SAATY, 1987).

Os *stakeholders* expressam as suas preferências fazendo julgamentos sobre uma variedade de comparações emparelhadas de critérios e alternativas. O AHP assume que as pessoas possuem preferências, o que traz subjetividade para o modelo decisório. Tal subjetividade, inerente à utilização de variáveis qualitativas, deve ser normalizada conforme escala ilustrada por Saaty (2000) na Tabela 3:

Tabela 3. Escala de normalização segundo Saaty.

Escala verbal	Descrição	Normalização
Igual preferência	As duas atividades contribuem igualmente para o objetivo.	1
Preferência moderada	A experiência e o juízo favorecem uma atividade em relação à outra.	3
Preferência forte	A experiência ou juízo favorece fortemente uma atividade em relação à outra.	5
Preferência muito forte	Uma atividade é muito fortemente favorecida em relação à outra.	7
Preferência extrema	A evidência favorece uma atividade em relação à outra, com o mais alto grau de segurança.	9
Valores intermediários	Quando se procura uma condição de compromisso entre duas definições.	2, 4, 6 e 8

Fonte: Adaptado de Saaty (2000).

O primeiro passo do método é o estabelecimento de uma hierarquia entre os objetivos, subobjetivos e critérios, de modo que possam ser visualizadas facilmente as relações hierárquicas existentes.

Segundo Saaty (1987), o valor de preferência para os elementos a_{ji} será o inverso do elemento simétrico à diagonal principal na matriz de julgamentos, ou seja, $a_{ji} = 1/a_{ij}$. Com esses valores, pode-se construir uma matriz onde cada elemento é o valor a_{ij} correspondente ao grau de preferência em se escolher uma alternativa i no lugar de uma j , como mostrado na Equação 5. O decisor deverá realizar $\frac{n(n-1)}{2}$ comparações para cada critério, sendo que n é o número total de alternativas.

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ 1/a_{12} & 1 & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1/a_{1n} & 1/a_{2n} & \dots & 1 \end{pmatrix} \quad (5)$$

Essa matriz deve ser normalizada conforme Equação 6:

$$\bar{v}_i(A_j) = a_{ij} / \sum_{i=1}^n a_{ij} \quad (6)$$

Onde: $\bar{v}_i(A_j)$ = elemento a_{ij} normalizado.

A partir da matriz normalizada, o vetor de prioridades de uma determinada alternativa para o critério em avaliação pode ser determinado com a Equação 7. Esse vetor expressa a preferência que uma alternativa tem frente a todas outras em um determinado critério. Quanto maior seu valor, melhor é considerada a alternativa, e a soma dos vetores de cada uma delas é igual a 1.

$$\bar{v}_k(A_i) = \sum_{j=1}^n \bar{v}_i(A_j) / n \quad (7)$$

Onde n é o número de alternativas avaliadas.

O próximo passo é a determinação de uma estrutura de preferências entre os itens de cada nível hierárquico, assim como foi feito para as alternativas e então calcular os vetores de prioridade entre os critérios.

A ordenação das alternativas é feita utilizando a Equação 8 para calcular o índice \bar{f} de todas alternativas. As alternativas com maior atribuição de \bar{f} são consideradas as mais adequadas.

$$\bar{f}(A_j) = \sum_{i=1}^m \bar{w}_i(C_i) \cdot \bar{v}_i(A_j) \quad (8)$$

Onde: $\bar{w}_i(C_i)$ = vetor de prioridades entre critérios;

A_j = j -ésima alternativa avaliada.

Segundo Costa (2006), mesmo quando os julgamentos paritários são elaborados por especialistas, inconsistências poderão acontecer por serem intrínsecas ao método, principalmente quando o número de julgamento for elevado.

Para a avaliação de consistência pode-se realizar um teste considerando n o número de alternativas comparadas, e w o vetor de prioridade entre os critérios, λ_{\max} é definido como o autovalor da matriz de decisão A e é calculado conforme a Equação 9:

$$\lambda_{\max} = \left(\frac{1}{n}\right) \sum \frac{v_i(A \times w)_i}{w_i} \quad (9)$$

Segundo Costa (2006), a matriz de julgamentos no AHP deve ser uma matriz não negativa e recíproca, no entanto a presença de inconsistências introduz intransitividade nesta matriz. Desta forma, pode se calcular o Índice de Consistência, o qual avalia o quanto o maior autovalor se afasta da ordem da matriz, conforme Equação 10:

$$IC = \left(\frac{\lambda_{\max} - n}{(n - 1)}\right) \quad (10)$$

Em que n e λ_{\max} representam respectivamente, a ordem e o maior autovalor da matriz de julgamentos paritários.

Por fim, Saaty (1987) propôs o uso da razão de consistência (RC), que permite avaliar a inconsistência em função da ordem da matriz de julgamentos. Caso o resultado dessa análise seja maior que 0,1, recomenda-se:

- Revisão do julgamento de valor e/ou;
- Redução do número de elementos a serem avaliados em uma mesma hierarquia e/ou;
- Reestruturar a hierarquia de maneira que os elementos a serem avaliados sejam mais homogêneos.

A razão de consistência é calculada através da Equação 11:

$$RC = \frac{IC}{IR} \quad (11)$$

Onde IR é um índice de consistência obtido para uma matriz recíproca, com elementos não-negativos e gerados de forma randômica, conforme Quadro 5.

Quadro 5. Índices randômicos (IR) segundo Saaty.

Ordem da Matriz	Valores de IR
2	0,00
3	0,58
4	0,90
5	1,12
6	1,24
7	1,32
8	1,41
9	1,45

Fonte: Adaptado de Costa (2006).

2.2.2 Método Multicritério Família Electre e Algumas Aplicações

Desde a sua concepção, iniciada na década de 1960, ELECTRE (*ELimination Et Choix Traduisant la REalité*) têm sido amplamente utilizado para auxílio à decisão de múltiplos critérios em muitos problemas de decisão do mundo real nos mais variados segmentos, desde a agricultura à seleção de projetos (FIGUEIRA *et al.*, 2013).

A família Electre é composta dos seguintes métodos: Electre I (ROY, 1968), Electre II (ROY; BERTIER, 1971), Electre III (ROY, 1978), Electre IV (ROY; HUGONNARD, 1982), Electre IS (ROY; SKALKA, 1985), Electre TRI-B (YU, 1992) e Electre TRI-C (ALMEIDA-DIAS; FIGUEIRA; ROY, 2010), conforme detalhamento no Quadro 6.

Quadro 6. Versões dos métodos da família Electre e suas aplicações.

Versão	Autor	Ano	Problemática
Electre I	(ROY, 1968)	1968	Seleção
Electre II	(ROY; BERTIER, 1971)	1971	Ordenação
Electre III	(ROY, 1978)	1978	Ordenação
Electre IV	(ROY; HUGONNARD, 1982)	1982	Ordenação
Electre IS	(ROY; SKALKA, 1985)	1985	Seleção
Electre TRI-B	(YU, 1992)	1992	Classificação
Electre TRI-C	(ALMEIDA-DIAS; FIGUEIRA; ROY, 2010)	2010	Classificação

Fonte: Gonçalves (2013).

Figueira *et al.* (2013) apresentaram as principais características dos MCDA da família ELECTRE, a qual se destacam: a capacidade de modelar uma relação de superação do conjunto de ações, construída através de testes de concordância e não discordância (BOTTERO *et al.*, 2015), a possibilidade de levar em consideração razões positivas e negativas na modelagem de preferências (ROY, 1996), uso de limiares discriminatórias para homogeneizar as imperfeições de dados subjetivos e a ausência de sistemática de compensação entre ganhos e perdas (FIGUEIRA *et al.*, 2013).

Martin e Legret (2005) aplicaram o ELECTRE III na melhoria de gestão de águas pluviais em áreas urbanas de Paris, onde oito alternativas e oito critérios compõe a matriz do problema. A semelhança dos resultados obtidos deve-se à desempenhos relativamente semelhantes para todas as alternativas, que são muito discriminadores e predominam na influência dos pesos dos critérios, conforme Figura 17.

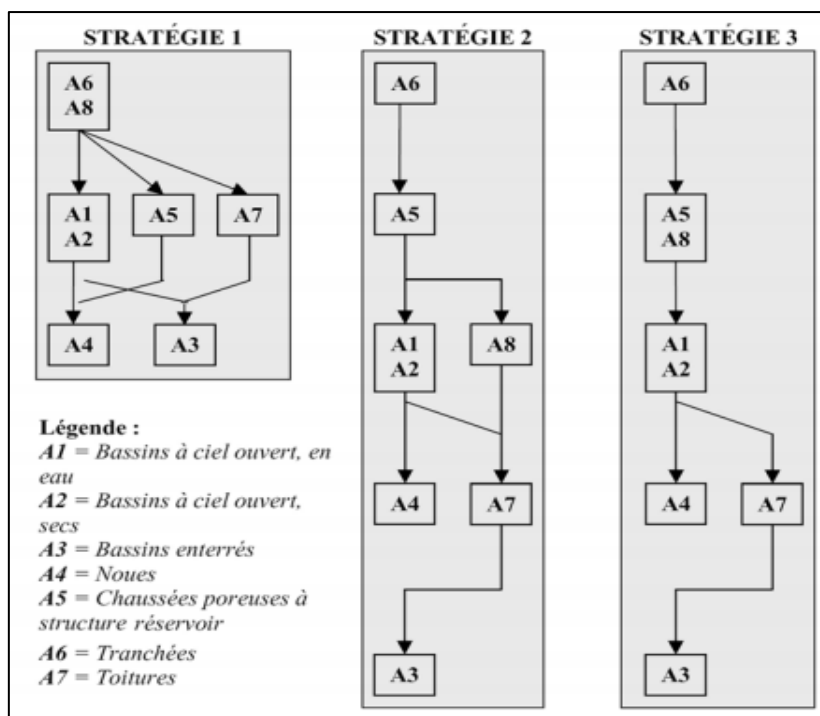


Figura 17. Ordenação final das alternativas para solução de problemas de águas pluviais na França.

Fonte: Martin e Legret (2005).

Costa *et al.* (2007) usaram o método multicritério ELCTRE-TRI aplicado na classificação ordenada da satisfação de consumidores de um loja de bens de consumo em um *shopping*, incorporando na modelagem um tratamento de estimativa de limites de concordância e indiferença, o que trouxe robustez para os resultados, segundo os analistas da pesquisa. Os resultados permitiram entender através de uma ordenação, quais são as preferências dos clientes, sendo uma importante ferramenta de gestão para o proprietário do estabelecimento.

Chen *et al.* (2015) aplicaram um método hesitante *fuzzy* ELECTRE I (HF-ELECTRE I) usando os conceitos de concordância nebulosa hesitante e discordância nebulosa hesitante que são baseados na pontuação dada e função desvio, e empregados para determinar a alternativa preferível. Por fim, foi realizada uma comparação entre o método HF ELECTRE I com o ELECTRE III e ELECTRE IV.

Filatieri e de Sá (2020) utilizaram o método ELECTRE I para seleção do melhor fornecedor de uma indústria do ramo automotivo através de critérios elencados por especialistas desta empresa. Após aplicação das fases do método, normalização dos dados e pesos, cálculo do índice de concordância e discordância, fez-se a análise de grafo com intuito

de verificar a consistência do método aplicado, selecionando então o fornecedor com melhor desempenho naquele período.

2.2.2.1 Electre III

O método Electre III surge como uma melhoria do Electre II, agregando as famílias dos pseudocritérios na modelagem (GOMES; GONZÁLEZ ARAYA; CARIGNANO, 2004).

O MCDA foi desenvolvido por Roy em 1978 para reduzir as interferências das incertezas e imprecisões intrínsecas aos sistemas de decisão que envolvem opiniões dos decisores, portanto subjetivas, para a ordenação das alternativas, da melhor para a menos favorável, utilizando limiares de indiferença e preferência (ROY, 1978). Estes limiares são definidos para ilustrar sua preferência ou indiferença para extrair a relação entre as alternativas (YOON; HWANG, 1995; HASHEMI *et al.*, 2016).

Zopounidis e Dimitras (1998) trazem como ideia central o uso de índices de concordância e discordância, os quais são calculados com base nos limites de indiferença, preferência e veto. Estes limites representam a imprecisão ou incerteza do decisor (ROY, 1978; ZOPOUNIDIS; DIMITRAS, 1998).

Segundo Vincke (1992), o valor de sobreclassificação é caracterizado pela definição de um grau de sobreclassificação $S(a, b)$ associado com cada par ordenado (a, b) de alternativas, representando o grau de sobreclassificação de a sobre b .

Considere $A = (a_1, a_2, \dots, a_n)$ um conjunto de alternativas e (g_1, g_2, \dots, g_m) um conjunto de critérios para um problema multicritério; $g_j(a_j)$, representam o desempenho ou a avaliação da alternativa $a_j \in A$ para o critério g_j . Dependendo se a meta é maximizar ou minimizar o critério $g_j(a_j)$, quanto mais alto ou mais baixo, melhor a alternativa atende ao critério g_j . Consequentemente, a avaliação multicritério da alternativa $a_j \in A$ será representada pelo vetor $g(a) = (g_1(a), g_2(a), \dots, g_m(a))$ (TZENG; HUANG, 2011).

A avaliação do método ELECTRE III abrange o estabelecimento de uma função de limiar (ROY, 1978), a divulgação dos índices de concordância e discordância (ZOPOUNIDIS; DIMITRAS, 1998), a determinação do grau de credibilidade e a ordenação das alternativas

(TZENG; HUANG, 2011). Considerando que $q(g)$ e $p(g)$ representam os limites de indiferença e preferência, teremos respectivamente (TZENG; HUANG, 2011; BARRETO, 2015):

Se $g(a) \geq g(b)$, então:

$$g(a) > g(b) + p(g(b)) \Leftrightarrow aPb \quad (12)$$

lê-se: (a tem preferência forte à b) se, e somente se $g(a) - g(b) > p$

$$g(b) + q(g(b)) < g(a) < g(b) + p(g(b)) \Leftrightarrow aQb \quad (13)$$

lê-se: (a tem preferência fraca à b) se, e somente se $q < g(a) - g(b) \leq p$

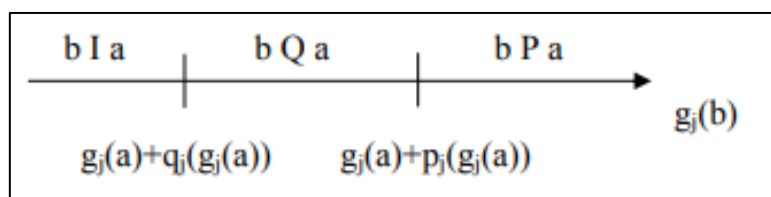
$$g(b) < g(a) < g(b) + q(g(b)) \Leftrightarrow aIb \quad (14)$$

lê-se: (a é indiferente à b , e b é indiferente a a) se, e somente se $|g(a) - g(b)| \leq q$

onde P denota uma preferência forte, Q denota uma preferência fraca, I denota indiferença e $g(a)$ é o valor de critério da alternativa (HASHEMI *et al.*, 2016), q é o limite de indiferença de um pseudocritério e p é o limite de preferência estrita de um pseudocritério (MENDONÇA; INFANTE; VALLE, 2010).

Para indicadores de avaliação crescente, o pseudocritério pode ser entendido conforme Gráfico 3, onde um critério verdadeiro é um pseudocritério em que os limiares p_j e q_j são nulos:

Gráfico 3. Gráfico do pseudocritério.



Fonte: Vincke (1992).

As etapas do ELECTRE III e os cálculos são apresentados a seguir:

Etapa 1. O índice de concordância $C(a, b)$, conforme Equação 15, expressa a concordância em se afirmar que a subordina b , a luz de todos os critérios, e este é calculado para cada par de alternativas:

$$C(a, b) = \frac{\sum_{i=1..n} [w_i \times c_i(a, b)]}{\sum_{i=1..n} w_i} \quad (15)$$

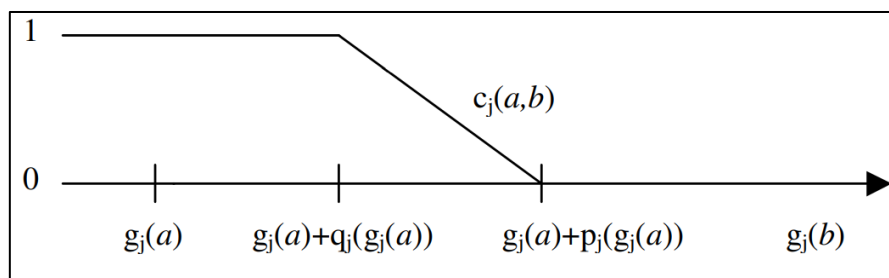
onde w_i se refere ao peso de cada critério.

Então, $C_i(a, b)$ é o grau de superação da alternativa a e da alternativa b sob o critério i , e:

$$c_i(a, b) \begin{cases} 0, & \text{se } v_i(a) \leq v_i(b) - p_i \\ 1, & \text{se } v_i(a) > v_i(b) - q_i \\ \frac{p_i - [v_i(a) - v_i(b)]}{p_i - q_i}, & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (16)$$

Assim, $0 \leq C_i(a, b) \leq 1$, expresso no Gráfico 4:

Gráfico 4. Índice de concordância.



Fonte: Vincke (1992).

O limite ou limiar de veto $v_i(g_i(b))$ é definido para cada critério i da seguinte forma:

$$v_i(g_i(a)) = \alpha_v + \beta_v g_i(a) \quad (17)$$

O limite de veto v_i permite a possibilidade de $a \leq b$ ser totalmente recusada se, para qualquer um dos critérios:

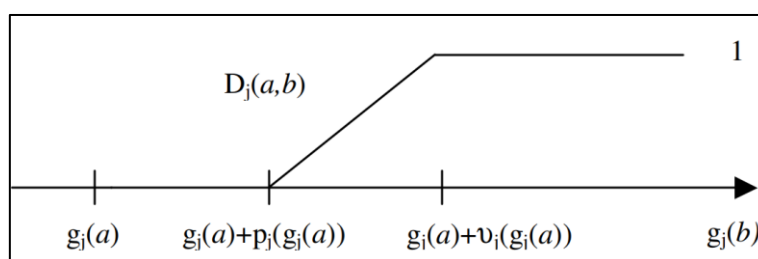
$$j, g_i(b) g_i > (a) + v_i \quad (18)$$

Etapa 2. O índice de discordância $d(a, b)$ para cada critério é então definido da seguinte forma:

$$d_i(a, b) \begin{cases} 0, & \text{se } g_i(b) - g_i(a) \leq p_i(g_i(a)) \\ 1, & \text{se } g_i(b) - g_i(a) > v_i(g_i(a)) \\ \frac{g_i(b) - g_i(a) - p_i}{v_i - p_i}, & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (19)$$

Assim, $0 \leq d_i(a, b) \leq 1$, expresso na Gráfico 5:

Gráfico 5. Índice de discordância.



Fonte: Vincke (1992).

Etapa 3. Finalmente, o grau de superação ou índice de credibilidade é definido por $S(a, b)$ e expressa quanto se admite que a subordina b globalmente:

$$S(a, b) \begin{cases} C(a, b) & \text{se } d_i(a, b) \leq C(a, b) \forall i \\ C(a, b) \times \prod_{d_i(a, b) > C(a, b)} \frac{1 - d_i(a, b)}{1 - C(a, b)} \end{cases} \quad (20)$$

onde $J(a, b)$ é o conjunto de critérios para os quais $d_j(a, b) > c(a, b)$ (TZENG; HUANG, 2011).

Com os índices de credibilidade é possível determinar uma sucessão de relações de subordinação utilizando um nível de corte λ , conforme Figura 18. λ é o menor valor de um índice de credibilidade em que se pode afirmar que $a \mathbf{S} b$ (BARRETO, 2015).

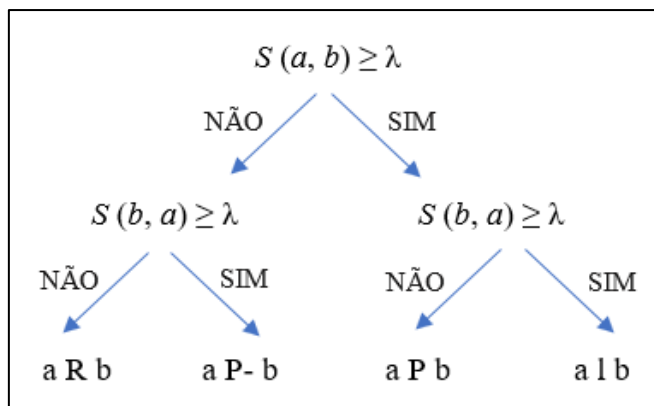


Figura 18. Avaliações das relações de subordinação com base no índice de credibilidade.

Fonte: Elaborado pelo autor.

De acordo com Roy e Figueira (2002), a definição de $\rho(aSb)$ é baseada nas seguintes ideias principais:

a) Quando não houver critério discordante, a credibilidade da relação de superação é igual ao índice de concordância abrangente.

b) Quando um critério discordante ativa seu poder de veto, a assertiva não é de todo credível, portanto, o índice é nulo.

c) Para as demais situações em que o índice de concordância abrangente é estritamente inferior ao índice de discordância no critério discordante, o índice de credibilidade torna-se inferior ao índice de concordância abrangente, por causa do efeito de oposição neste critério.

Etapa 4. Para obter a classificação completa das alternativas, o método de classificação normal do ELECTRE III usa um algoritmo estruturado por meio de dois procedimentos de classificação intermediários: um é descendente ou otimista, onde as alternativas são classificadas da melhor para a pior (destilação descendente), enquanto a outra é baseada na ordem ascendente, ou pessimista, da pior para a melhor alternativa (destilação ascendente), conforme Figura 19 (HASHEMI *et al.*, 2016).

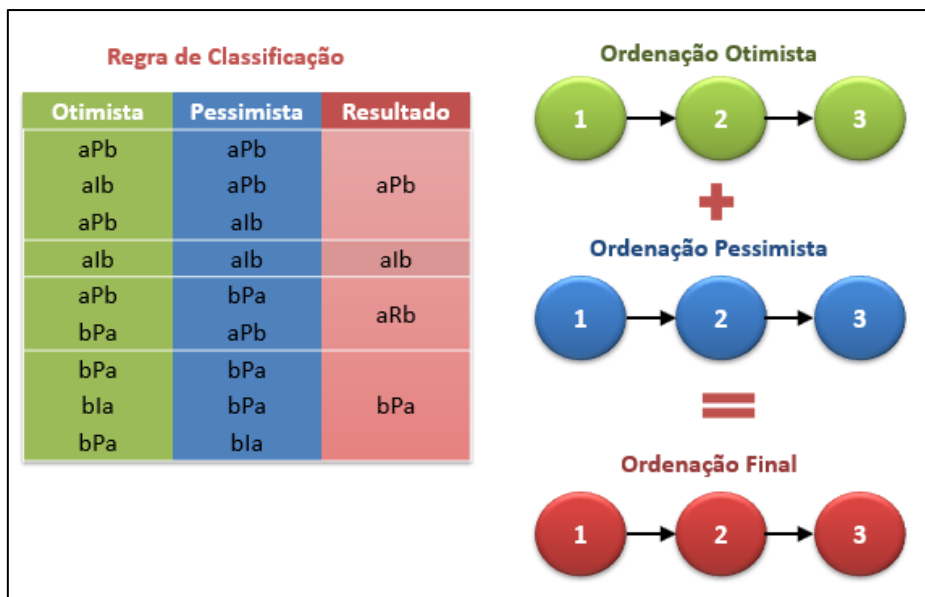


Figura 19. Ordenação final das alternativas.

Fonte: Gonçalves (2013).

Li e Wang (2007), adicionalmente propuseram um método de classificação baseado em três conceitos: grau de credibilidade de concordância, grau de credibilidade de discordância e grau de credibilidade líquida, com a finalidade de trazer mais robustez na classificação das alternativas.

- (i) O grau de credibilidade de concordância é uma medida do caráter de superação de x_i (mostrando como x_i domina todas as outras alternativas de X):

$$\varphi^+(x_i) = \sum_{X_j \in X} S(X_i, X_j), \quad \forall X_i \in X \quad (21)$$

- (ii) O grau de credibilidade de discordância descreve o x_j superado (mostrando como x_j é dominado por todas as outras alternativas de X):

$$\varphi^-(x_i) = \sum_{X_j \in X} S(X_i, X_j), \quad \forall X_i \in X \quad (22)$$

- (iii) O grau de credibilidade líquida representa a função de valor, onde um valor mais alto reflete maior atratividade da alternativa:

$$\varphi(x_i) = \varphi^+(x_i) - \varphi^-(x_i), \quad \forall X_i \in X \quad (23)$$

Por fim, todas as alternativas podem ser completamente classificadas pelo grau de credibilidade líquido (LI; WANG, 2007).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo serão apresentados os materiais e métodos empregados na pesquisa operacional conduzida em uma planta industrial de uma das empresas que faz parte do complexo do Porto do Açu. Conforme Figura 20, a metodologia foi ilustrada por um fluxo de notação BPMN, do inglês *Business Process Model and Notation*. A notação BPMN permite uma visão organizada do fluxo dos processos (VAISMAN, 2013).

Inicia-se o fluxo pela percepção do grau de impacto do fenômeno da corrosão nos equipamentos e estruturas dessa planta, percorrendo até a definição e escolha dos tratamentos anticorrosivos mais adequados e aderentes a cada cenário, resultando num modelo que poderá ser adaptado e aplicado pelas demais áreas desta empresa bem como demais indústrias e portos do Brasil.

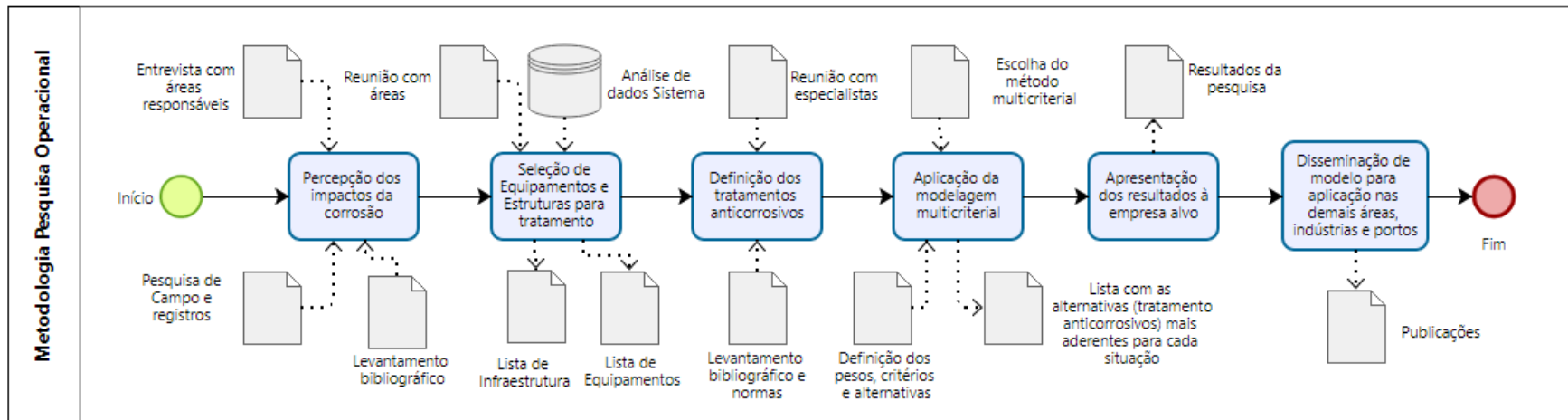


Figura 20. Metodologia de pesquisa representada por notação BPMN.

Fonte: Elaborado pelo autor.

3.1 Percepção dos Impactos da Corrosão e Seleção de Equipamentos e Estruturas para Tratamento

O produto desta seção foi a construção de uma tabela com dois grupos, sendo uma coluna para o Grupo de Equipamentos ligados à produção e a outra com as estruturas de apoio às operações, comumente caracterizados como predial, como resultado foram selecionados um equipamento e uma estrutura prioritários para tratar os efeitos da corrosão atmosférica.

Para medir a percepção dos colaboradores dentro da planta industrial alvo desta pesquisa em relação aos impactos causados pelos efeitos da corrosão, realizou-se entrevistas com os gestores de manutenção industrial, predial, engenheiros, supervisores e operadores de produção, para diagnosticar a compreensão sobre o assunto, onde 100% dos entrevistados afirmaram conhecer ao menos um equipamento ou estrutura que vem sofrendo os impactos da corrosão.

Para seleção dos equipamentos e estruturas, realizou-se primeiramente um levantamento de dados históricos e registros de manutenção através do *software* de gerenciamento de manutenções e através de planilhas de controle adotados pela empresa, objetivando gerar uma relação dos equipamentos que operam em área externa e que já sofreram algum tipo de intervenção, seja na execução de pequenos reparos ou de substituição de peças e componentes que foram afetados pela corrosão atmosférica.

Com a lista revelada, realizou-se uma reunião com o planejador de manutenção, engenheiro da área industrial e técnicos de manutenção que conhecem e acompanham o desempenho dos equipamentos. O objetivo dessa reunião foi promover uma análise qualitativa dos tipos de falhas, correlacionando-as aos efeitos da corrosão. As avaliações foram então confrontadas com as reais condições destes equipamentos e estruturas, através de pesquisa em campo.

A análise qualitativa, segundo Kaplan e Maxwell (2005), geralmente envolve o estudo sistemático e detalhado, muitas vezes usando entrevistas abertas destinadas a obter relatos detalhados e aprofundados das experiências e perspectivas do entrevistado sobre questões, situações específicas, ou eventos.

3.2 Escolha do Método Multicriterial

A escolha do método ELECTRE III deu-se pelos seguintes motivos:

- Por ser a primeira aplicação em problemas da área de corrosão conforme literatura prospectada;
- Por apresentar capacidade de lidar com um número razoável de variáveis (critérios);
- Flexibilidade e bom desempenho para tratar variáveis contraditórias, quantitativas e qualitativas;
- Por ser um método de ordenação, capaz de estabelecer uma sequência ou ranqueamento do melhor para o pior, pois em problemas da área de corrosão não existe apenas um tratamento que pode ser aplicado como solução, sendo o modelo de ranqueamento um direcionador para aquele com maior desempenho, segundo os critérios selecionados.

3.3 Definição das Alternativas dos Revestimentos Protetores

Segundo Gentil (2011), nem a corrosão nem o seu controle podem ser tratados isoladamente, pois o próprio mecanismo de corrosão pode sugerir alguns modos de combate ao processo corrosivo. Dentre os métodos existentes, os revestimentos protetores se apresentam como soluções adequadas para diminuição da taxa de corrosão dos materiais metálicos:

- i. Revestimentos com produtos da reação – tratamento químico ou eletroquímico da superfície metálica;
- ii. Revestimentos orgânicos – tintas, resinas ou polímeros;
- iii. Revestimentos inorgânicos – esmaltes, cimentos, dentre outros;
- iv. Revestimentos metálicos – níquel, galvanização de zinco, outros;
- v. Revestimentos temporários – graxas, óleos, lubrificantes, outros.

A norma N13 da Petrobras dispõe as condições exigíveis na aplicação e controle de qualidade de esquemas de pinturas em equipamentos industriais. Dentro do seu escopo são citadas

as normas N1550 que traduz o esquema de pintura para estruturas metálicas e a N1735 para as máquinas, equipamentos elétricos e instrumentação (PETROBRAS, 2019).

Outras alternativas para proteção dos diferentes metais estão disponíveis nas normas brasileiras, como por exemplo a NBR 6363, que trata do produto de aço ou ferro fundido revestido de zinco por imersão a quente (ABNT 06323, 1990).

As normas da *American Society for Testing and Materials*, ASTM B766-15 e B841, especificam o padrão para revestimentos eletrodepositados de cádmio e liga de zinco-níquel respectivamente e ASTM B850-15 padroniza os tratamentos pós-revestimento de aço para reduzir o risco de fragmentação de hidrogênio (B08 COMMITTEE, 2015; B08 COMMITTEE, 2015; B08 COMMITTEE, 2018).

Gentil (2011) destaca que o fator econômico é preponderante na escolha do tratamento e que os gastos relacionados à deterioração do equipamento devem ser levados em consideração, bem como nos prejuízos resultantes dessas deteriorações, que são considerados valores intangíveis e não recuperáveis, como principalmente a perda de eficiência produtiva.

Com base na literatura disponível, normas técnicas e compreensão do cenário e necessidade da empresa, os especialistas da área de materiais e os gestores da empresa, selecionaram os tratamentos, reportados nas Tabelas 4 e 5 como as alternativas possíveis e mais adequadas para solução dos problemas de corrosão nos equipamentos e estruturas levantados como prioritários.

Tabela 4. Tratamentos escolhidos como as alternativas mais adequadas para tratamento dos problemas dos **equipamentos** prioritários da empresa.

Alternativas	Tratamento anticorrosivo
A	Pintura epóxi padronizada
B	Galvanização de Zinco
C	Aço inox 316
D	Níquel
E	Revestimento temporário

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 5. Tratamentos escolhidos como as alternativas mais adequadas para tratamento dos problemas das **estruturas** prioritárias da empresa.

Alternativas	Tratamento anticorrosivo
A	Pintura epóxi padronizada
B	Aço Galvanizado de Zinco
C	Aço Galvalume
D	Aço inox 316

Fonte: Elaborado pelo autor.

3.4 Definição dos critérios

A definição dos critérios é um passo importante para se obter uma visão global dos benefícios de cada alternativa. Cada critério pode assumir um peso associado, para tornar a análise e o julgamento o mais homogêneos o possível (COSTA, 2006).

Para a modelagem multicriterial do problema de corrosão desta empresa do CPA, os critérios devem estar alinhados não somente aos quesitos técnicos da abordagem na área de corrosão, mas também com a estratégia de negócio da empresa, legislações vigentes e aplicáveis ao seu segmento e exigências de seus clientes, se houverem.

Após algumas reuniões com diferentes gestores e com o time técnico da empresa, os seguintes critérios foram então selecionados para a modelagem do problema:

A) C1 - Custos (C)

A variável **C** está presente no cotidiano de todas as pessoas e empresas, sendo um dos quesitos direcionadores nas tomadas de decisões, sendo portanto de suma importância a sua análise e compreensão (BERTÓ; BEULKE, 2014).

Ainda Berto e Beulke (2014), afirmam que o critério custo, é variável preponderante quando o assunto é investimento, seja em um bem ou serviço, ou seja nas melhorias dos processos internos. Nesse sentido o cálculo da taxa de retorno e viabilidade são calculados para justificar ou não um determinado investimento.

Dentro do universo da corrosão, Gentil (2011) aponta que a solução econômica para o controle da corrosão pode ser calculada por algumas fórmulas, destacando o índice 24, o qual exprime a economia ou o prejuízo anual com a troca de um dado material, caso a substituição do deste seja a decisão de tratamento.

$$\left[100 \frac{\Delta T}{T} \left(1 + \frac{L}{C} \right) - 100 \frac{\Delta C}{C} \right] \frac{C}{100 (T + \Delta T)} + P \quad (24)$$

Sendo:

T = vida, em anos, do material (A)

L = custo dos trabalhos de reparos, por ano, usando-se o material (A)

C = custo do material (A)

ΔT = prolongamento da vida do material quando se usa material (B)

ΔC = aumento do custo do material quando se usa material (B)

P = perda de produção por motivo de paradas não programadas, por ano

Deste valor é deduzido o valor das matérias-primas economizadas. Se o valor da expressão for positivo, representará que a troca do material é economicamente viável, caso seja negativo, representará um possível prejuízo após um ano de operação (GENTIL, 2011).

Para a tinta como inibidor de corrosão, o custo total é calculado pela soma: preparação da superfície, aquisição, aplicação das tintas e manutenção periódica das pinturas (Gentil 2011; PANNONI, 2017). Para o revestimento de Níquel e outros revestimentos metálicos, é calculado pelo custo direto da aplicação sob a superfície.

Solicitou-se três cotações para os diferentes revestimentos considerados como as alternativas do modelo de decisão. O material considerado no escopo de licitação foi uma placa de Aço Carbono 1045, medindo 1000 mm (largura) x 1000 mm (comprimento) x 50 mm (espessura). Para a alternativa de substituição do material A por B, considerou-se os materiais: aço carbono com galvanização de zinco e aço INOX 316.

Para as telhas do galpão, após reuniões com empresas especialistas do ramo, solicitou-se a cotação de telhas fabricadas em diferentes materiais anticorrosivos: galvalume, zinco e aço

inoxidável e pintura epóxi pigmentado com alumínio, com os dimensionais em mm (milímetros), conforme Figura 21. Para as calhas, adotou-se dimensões padrão de calhas encontradas no mercado considerando exatamente os mesmos materiais a serem fornecidos para a telha de fechamento lateral.

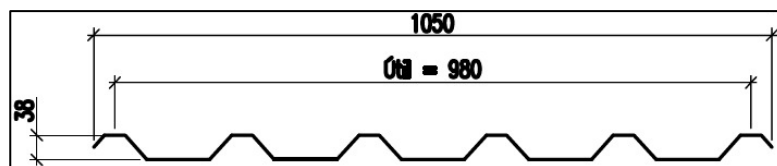


Figura 21. Telha de fechamento lateral para galpão industrial.

Fonte: Elaborado pelo autor.

B) C2 - Desempenho do Revestimento (DR)

O critério **DR** foi selecionado para abordar a variável durabilidade dos diferentes tipos de revestimento selecionados para tratar o problema.

Para o tratamento de pinturas e vernizes, a durabilidade depende de inúmeros fatores, tais como: o projeto da estrutura, o grau de preparação da superfície, a qualidade do trabalho de preparação da superfície, o padrão do trabalho de aplicação, as condições durante a aplicação e as condições de exposição após a aplicação (ISO 12944-5, 2019).

Considerando-se uma condição ideal tanto do material a ser protegido, como do processo de aplicação do protetor, a durabilidade pode ser expressa através do Quadro 7.

Quadro 7. Sistema de pinturas para aço carbono para corrosividade categoria C5.

Número do Sistema	Revestimento de Primer				Sistema de Pintura			Durabilidade			
	Tipo do Pigmento	Tipo do primer	Número de camadas	ENFS em μm	Tipo do Pigmento	Total de camadas	ENFS em μm	B	M	A	MA
C5.01	EP, PU, SE	Outros	1	80 a 160	EP, PU, AI	2	180	x			
C5.02	EP, PU, SE	Outros	1	80 a 160	EP, PU, AI	2 a 3	240	x	x		
C5.03	EP, PU, SE	Outros	1	80 a 240	EP, PU, AI	2 a 4	300	x	x	x	
C5.04	EP, PU, SE	Outros	1	80 a 200	EP, PU, AI	3 a 4	360	x	x	x	x
C5.05	EP, PU, SE	Zn (R)	1	60 a 80	EP, PU, AI	2	160	x			
C5.06	EP, PU, SE	Zn (R)	1	60 a 80	EP, PU, AI	2 a 3	200	x	x		




C5.07	EP, PU, SE	Zn (R)	1	60 a 80	EP, PU, AI	3 a 4	260	x	x	x	
C5.08	EP, PU, SE	Zn (R)	1	60 a 80	EP, PU, AI	3 a 4	320	x	x	x	x




C5 – Categoria de corrosividade nível 5 conforme preconizado pela norma ISO 12944-2.
EP – Epóxi / **PU** – Poliuretano / **SE** – Silicato de Etila / **AI** – Acrílico / **Outros** – Todos os demais tipos de primers
Zn (R) – Primer rico em Zinco com espessura variando de 40 µm a 80 µm.
ENFS – Espessura Nominal do Filme Seco
B – Baixa (até 7 anos) / **M** - Média (7 a 15 anos) / **A** - Alta (15 a 25 anos) / **MA** - Muito Alta (Acima de 25 anos)

Fonte: ISO 12944-5 (2019).

Para entender o comportamento deste critério na prática, realizou-se um levantamento em campo em diferentes áreas da empresa para avaliar as condições dos variados equipamentos e estruturas que foram adquiridos no início das operações do CPA e que não sofreram manutenção em sua superfície de proteção. Esse levantamento consistiu em analisar qualitativamente a condição da superfície desses materiais, identificando o tipo do revestimento adotado e qual é a sua condição após 8 anos em operação. conforme Quadro 8 a seguir:

Quadro 8. Avaliação qualitativa de variados equipamentos e estruturas, quanto ao desempenho dos tratamentos utilizados para proteção contra corrosão.

Tipo de revestimentos dos equipamentos e estruturas avaliados	Condição após 8 anos em operação	Evidência Fotográfica
Pintura epóxi (padronizada)	Corrosão baixa	
Pintura epóxi (sem esquema de pintura)	Corrosão muito elevada	
Aço Inoxidável 316	Corrosão superficial	

Aço Inoxidável 316 L	Corrosão desprezível	
Galvanização de Zinco	Corrosão desprezível	
Revestimentos temporários	Corrosão muito elevada	
Níquel	Corrosão superficial	Sem Registo fotográfico.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Com base nos resultados obtidos na avaliação de campo e consulta em fichas técnicas de alguns fabricantes da área de proteção anticorrosiva, os especialistas determinaram a durabilidade estimada dos tratamentos, para as condições específicas de operação dos equipamentos desta empresa, conforme tabela 6.

Tabela 6. Variáveis linguísticas e escala quantitativa para a durabilidade estimada dos tratamentos avaliados em campo.

Nível da Corrosão	Durabilidade	Valores atribuídos
Desprezível	> 15 anos	0,95
Baixa/superficial	Entre 7 e 15 anos	0,65 a 0,80
Muito elevada	< 7 anos	0,30

Fonte: Elaborado pelo autor.

As variáveis linguísticas foram transformadas em escalas quantitativas, pela equipe de especialistas, a fim de atribuir números para a parametrização dos dados no *software* de modelagem, ou seja, quanto maior o valor atribuído, o *software* interpretará que o nível de corrosão é desprezível, bem como ao contrário.

C) C3 - Viabilidade de Manutenção em Campo (VMC)

O critério **VMC**, foi selecionado para avaliar o grau de dificuldade de execução do serviço de reparo e manutenção para cada tipo de revestimento, correlacionando-os com os diferentes equipamentos e estruturas escolhidos para o problema de decisão.

Além da escolha de um revestimento com bom desempenho à corrosão é importante entender o grau de complexidade para a sua manutenção em campo, pois a viabilidade de manutenção é fator preponderante na preservação da vida útil de um dado equipamento ou estrutura metálica (PEIXOTO, 2014).

Com base no levantamento de campo realizado pelas áreas de processos e engenharia de materiais, determinou-se de forma qualitativa a viabilidade de aplicação dos tratamentos anticorrosivos selecionados como alternativas do problema de decisão, conforme Quadro 9:

Quadro 9. Variáveis linguísticas e escala quantitativa do critério viabilidade de manutenção em campo para os equipamentos e estruturas selecionados para o problema de decisão.

Equipamento / Estrutura	Tipos de tratamentos	VMC	Valores atribuídos
Piso chapa de equipamento de carga	Pintura epóxi	Viabilidade média	0,5
	Galvanização de Zinco	Viabilidade alta	1,0
	Inox 316L	Viabilidade baixa	0,0
	Níquel	Viabilidade alta	1,0
	Revestimento temporário	Viabilidade alta	1,0
Telhas de fechamento lateral de galpões e calhas	Pintura epóxi	Viabilidade baixa	0,0
	Galvanização de Zinco	Viabilidade média	0,5
	Aço Galvalume	Viabilidade alta	1,0
	Inox 316	Viabilidade baixa	0,0

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os níveis de viabilidade levaram em consideração os recursos necessários envolvidos na manutenção de cada tratamento, como por exemplo: a necessidade de preparo da superfície, a localização de cada equipamento e estrutura e a possibilidade de remoção da parte a ser protegida para execução do serviço em local apropriado, garantindo que a produção não será prejudicada pela ausência do componente.

É importante ressaltar que, embora a baixa viabilidade de manutenção aponte uma condição não favorável, todos os tratamentos podem ser aplicados, desde que medidas de controle adicionais

sejam tomadas, como por exemplo: equipamentos e estruturas que operam muito próximos ao cais, e que não podem ser deslocados para outro local durante o seu reparo, caso o tratamento de pintura epóxi seja escolhido para a proteção contra corrosão, será necessário o uso de barreiras de proteção física para inibir a projeção de partículas oriundas do processo de preparo da superfície e pintura, evitando que este material atinja o mar.

D) C4 - Saúde e Meio Ambiente (SMA)

Cada vez mais é evidente a preocupação com as questões ambientais nos meios corporativos (FLAMINI, 2021), não apenas pelo fato das legislações e regulamentações estarem mais atentas ao assunto, mas como também o aumento da percepção e conscientização do ser humano sob o tema sustentabilidade, tão difundido nos últimos anos (JESUS et al., 2021).

O critério **SMA** foi, portanto, selecionado pelos especialistas para a avaliação dos possíveis impactos os quais cada tratamento pode trazer durante a sua aplicação, seja para a saúde do colaborador, seja para os impactos ambientais.

Com base nas legislações vigentes e procedimentos internos da empresa, adotou-se a seguinte análise, para construção e julgamento dos valores para cada tratamento, conforme Quadro 10:

Quadro 10. Variáveis linguísticas e escala quantitativa do critério saúde e meio ambiente para os equipamentos e estruturas selecionados para o problema de decisão.

Tipos de tratamentos	SMA	Valores atribuídos
Pintura epóxi	Crítico	0,3
Galvanização de Zinco	Médio	0,5
Inox 316L	Médio	0,5
Níquel	Crítico	0,3
Revestimento temporário	Médio	0,5
Aço Galvalume	Médio	0,5
Inox 316	Médio	0,5

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tratamentos que requerem aplicação ou pulverização de partículas, como nas pinturas e preparo de superfícies, sendo estas executadas no local de trabalho, deve-se garantir que as

medidas de contenção e saúde do colaborador sejam adotadas, como o uso de EPI (Equipamentos de Proteção Individual) e EPC (Equipamentos de Proteção Coletiva), e portanto os tratamentos enquadrados nessa condição de aplicação conferem uma avaliação relativamente mais preocupante, enquanto a substituição de um material por outro de melhor desempenho à corrosão, não traz riscos para a saúde do colaborador e do meio ambiente da empresa.

Todavia, a preocupação com este critério não é limitada apenas dentro da organização em estudo, devendo ser considerado também a análise dos possíveis impactos gerados por cada tipo de tratamento nas dependências dos fabricantes e fornecedores, a fim de certificar que estes estejam aptos à realização do serviço, seguindo os mesmos critérios de saúde, meio ambiente e segurança do trabalho.

3.5 Determinação dos Pesos dos Critérios

Conforme abordado na sessão do método Electre III, é necessário atribuir peso aos diferentes critérios para construção do modelo de decisão (FIGUEIRA *et al.*, 2013). Para a determinação dos pesos, utilizou-se o método multicritério AHP (*Analytic Hierarquic Process*), que segundo Costa (2006) é uma importante ferramenta para auxílio na construção de uma hierarquia de decisão para resolução de problemas de múltiplas variáveis.

A análise da matriz de preferência do AHP é geralmente subjetiva, e por esse motivo deve ser feita por especialistas das diferentes áreas da empresa que possam responder pelo assunto abordado em cada critério e assim reduzir a imprecisão intrínseca a esta subjetividade. Por exemplo, o critério **Custo** em relação ao critério **Desempenho do Revestimento**, dependerá do quanto a empresa está preparada para assumir maiores custos para se ter maior desempenho.

Tecnicamente, essa resposta deveria vir da análise de retorno sob investimento, entretanto, na prática, podem existir empresas focadas em reduções de custos onde essa variável passa a ter maior importância, portanto, cabendo a cada organização defender o seu modelo de decisão.

O processo de tomada de decisão do presente trabalho foi dado por gestores, engenheiros e especialistas da área, competentes para a emissão de julgamentos de valor quanto à importância relativa dos critérios, de forma paritária, ou seja, um critério em relação ao outro.

A decisão final do julgamento foi condensada em apenas um resultado através de um

consenso entre todos os participantes citados anteriormente, tendo assim uma única decisão, visto que o método AHP é monodecisor (SAATY, 1987).

Os valores de julgamento normalizados foram então modelados através do *software Excel* da *Microsoft*, para avaliação do desempenho dos critérios à luz do foco principal, resultando nas prioridades médias locais (PML), conforme Quadro 11.

Quadro 11. Desempenho dos critérios à luz do foco principal.

Desempenho dos critérios à luz do foco principal					
Foco Principal	C	DR	SMA	VMC	PML
C	0,1	0,1	0,2	0,0	0,10
DR	0,2	0,2	0,2	0,2	0,18
SMA	0,3	0,5	0,5	0,6	0,48
VMC	0,4	0,2	0,2	0,2	0,23
Razão de consistência:			0,070		
C - Custos					
DR - Desempenho do Revestimento					
SMA - Saúde e Meio Ambiente					
VMC - Viabilidade de Manutenção em Campo					
PML - Prioridades Médias Locais					

Fonte: Elaborado pelo autor.

Saaty (2000) propôs uma matriz que permite avaliar o grau de inconsistência em função da ordem da matriz dos julgamentos, onde o valor da Razão de Consistência deve ser menor que 0,1, caso ao contrário recomenda-se a revisão do modelo de julgamentos. Conforme o Quadro 12, foi verificado que os julgamentos realizados pelo time de especialistas estão adequados, visto que o fator resultou num valor menor que 0,1, confirmando a consistência do modelo de julgamento.

Quadro 12. Avaliação do grau de consistência do modelo de julgamentos.

Razão de consistência do Foco Principal (Critérios)				P auxiliar																	
0,10	0,09	0,16	0,06	4,07	4,23	4,26	4,19														
0,20	0,18	0,16	0,23	λ_{max} soma do P auxiliar dividido pela ordem da matriz																	
0,30	0,55	0,48	0,70	4,19																	
0,41	0,18	0,16	0,23	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Ordem da Matriz</th> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>4</th> <th>5</th> <th>6</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IR</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0,58</td> <td>0,9</td> <td>1,12</td> <td>1,24</td> </tr> </tbody> </table>				Ordem da Matriz	1	2	3	4	5	6	IR	0	0	0,58	0,9	1,12	1,24
Ordem da Matriz	1	2	3	4	5	6															
IR	0	0	0,58	0,9	1,12	1,24															
Vetor auxiliar P				Fonte: Saaty (1987).																	
0,41	0,78	2,04	0,98	IC	IR	RC=IC/IR (Razão de Consistência)															
				0,063	0,9	0,07 deve ser <0,1															

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os resultados da modelagem AHP podem ser encontrados na seção resultados.

3.6 Aplicação do Método Multicritério Electre III

Para a modelagem multicriterial, utilizou-se o *software* Diviz XCMDA v4 *edition*, que é uma bancada de trabalho online para projetar, executar e compartilhar algoritmos e experimentos multicriteriais complexos. Foi utilizado o *workflow* padrão do Electre III, disponível na plataforma do Diviz para a modelagem multicriterial (LA LOIRE, 2021). Para a edição dos arquivos *.xml* gerados pelo *software* Diviz, utilizou-se o *Notepad++*, um editor de código-fonte de fácil interação com o usuário (HO, 2021).

Na primeira etapa construiu-se a matriz de desempenho para as duas modelagens, uma para o equipamento e uma para estrutura, selecionados para o problema de decisão, conforme Quadros 13 e 14. Foi necessário trabalhar com dois modelos independentes uma vez que o Electre III não é capaz de trabalhar com mais de uma modelagem simultânea.

Quadro 13. Matriz de desempenho das alternativas versus critério para a modelagem multicritério do equipamento selecionado como prioritário.

Alternativas	Critérios			
	C1	C2	C3	C4
Pintura epóxi	0,15	0,65	0,5	0,3
Galvanização de Zinco	0,21	0,95	1,0	0,5
Inox 316L	0,28	0,95	0,0	0,5
Níquel	0,26	0,8	1,0	0,3
Revestimento temporário	0,09	0,3	1,0	0,5

Fonte: Elaborado pelo autor.

Quadro 14. Matriz de desempenho das alternativas versus critério para a modelagem multicritério da estrutura selecionada como prioritária.

Alternativas	Critérios			
	C1	C2	C3	C4
Pintura epóxi	0,18	0,65	0,5	0,3
Galvanização de Zinco	0,23	0,95	0,5	0,5
Galvalume	0,25	0,95	1,0	0,5
Inox 316	0,35	0,8	0,0	0,5

Fonte: Elaborado pelo autor.

Na segunda etapa, conforme Tabela 7, foram atribuídos em consenso pela equipe técnica e de especialistas da área, os parâmetros necessários para modelar o problema no *software* Diviz,

com exceção dos pesos que foram obtidos através da aplicação do método AHP, abordado no capítulo anterior.

As Limiars de Preferência e Indiferença são indicadas para integrar diferentes variáveis linguísticas dentro de diferentes alternativas e, ainda, classificar e selecionar a melhor dentre tais alternativas.

A preferência é constituída de valores que parametrizam o *software* para afirmar que uma alternativa é preferível a outra, onde esta alternativa deve ter no mínimo x (exemplo $C1 = 0,10$) de preferência à sua concorrente, a luz de cada critério. A Limiar de Indiferença, parametriza valores que indicam não haver preferência de uma alternativa à outra dentro da faixa definida, por exemplo 0,02 para C1.

Tabela 7. Parâmetros do Electre III definidos para cada critério.

Parâmetros	Critérios			
	C1	C2	C3	C4
Limiar de Preferência (p)	0,10	0,15	0,25	0,10
Limiar de Indiferença (q)	0,02	0,30	0,50	0,20
Limiar de Veto (V)	0,30	0,35	0,75	0,25
Peso (W)	0,10	0,19	0,23	0,48
Direção de preferência	Min	Max	Max	Max

Fonte: Elaborado pelo autor.

Embora a escolha do limiar adequado não seja fácil em decisões mais realistas, há boas razões para a escolha de valores diferentes de zero.

Por fim, considerou-se as direções de preferências de cada um dos critérios, onde Min é a direção de preferência de minimização, ou seja, quanto menor o valor, maior preferência e Max é a maximização, quanto maior o valor, maior a preferência, conforme visto na Tabela 7.

Os parâmetros foram então importados para o *workflow* do Electre III no padrão *.xml* para o processamento pelo *software*, conforme Figura 22.

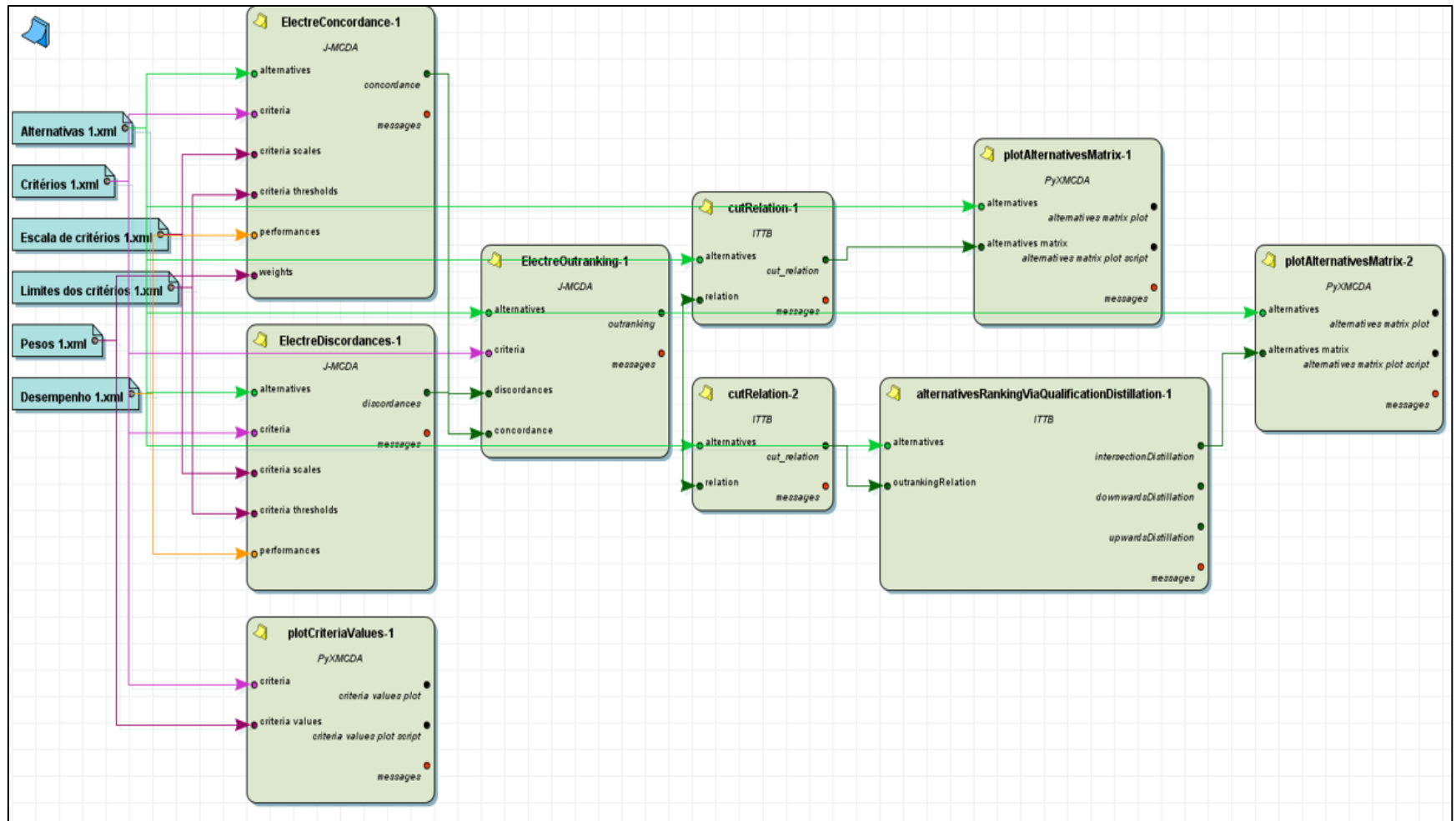


Figura 22. Etapa antes do processamento da modelagem. *Workflow* pronto no Diviz com os parâmetros importados para o *software*.

Fonte: Elaborado pelo autor.

4 RESULTADOS

4.1 Seleção dos Equipamentos e Estruturas

Após extração dos dados do sistema de gerenciamento de manutenção de equipamentos da empresa alvo desta pesquisa, através do software EAM-CMMS [M-8.5.2.3] dentro do período que compreende 01/01/2015 a 31/07/2021, encontrou-se 232 registros de serviços de manutenção distribuídos em 21 diferentes tipos de falhas para o Grupo de Equipamentos que operam nas proximidades do cais, portanto, em área exposta às intempéries, onde apenas 3 destes registros apresentam a corrosão como causa primária, conforme Quadro 15. Os custos destas manutenções não foram reportados por sigilo industrial.

Foi julgada pela equipe técnica a probabilidade de cada tipo de falha estar correlacionada com o modo de falha corrosão, conforme terceira coluna no mesmo quadro, uma vez que o número de equipamentos e estruturas que apresentam sinal de corrosão é evidentemente maior que os números apontados pelos registros.

Quadro 15. Tipos de falhas versus número de registros versus probabilidade.

Tipos de Falhas	Número de Registros	Probabilidade
Fim da vida útil	8	Muito Alta
Falha de projeto	5	Baixa
Erro de operação	19	Muito baixa
Desgaste	17	Alta
Corrosão	3	Muito Alta
Mal contato	11	Muito baixa
Curto circuito	9	Muito baixa
Folga	9	Média
Colisão	5	Muito baixa
Sujeira	20	Muito baixa
Sobrecarga elétrica	7	Muito baixa
Descarga atmosférica	3	Muito baixa
Pinturas	8	Muito Alta
Travamento mecânico	16	Alta
Travamento elétrico	15	Muito baixa
Queima	8	Não é possível estimar
Falta de componentes	11	Não é possível estimar
Quebra	19	Alta
Falta de alimentação elétrica	15	Muito baixa
Bloqueio	7	Não é possível estimar
Desligamento	17	Muito baixa


Fonte: Elaborado pelo autor.

Pressupõe-se que o descompasso entre os registros do software com a realidade dos equipamentos pode ser justificado pelo fato das ordens de serviços serem classificadas dentro de um grupo pré-existente de falhas, portanto, nesse momento não é levado em consideração a causa da falha e sim o seu efeito. Por exemplo, o tipo de falha **desgaste** pode ser decorrente da perda de matéria ocasionada pela corrosão, assim como a falha **travamento mecânico** pode ser resultante de partículas residuais da matéria metálica decomposta pela maresia que vieram travar um equipamento.

Outro aspecto importante a ser considerado é que esta planta industrial tem menos de 9 anos em operação e todos os equipamentos e estruturas foram comprados novos, portanto, os efeitos da corrosão vêm aparecendo gradativamente.

Selecionou-se então os tipos de falhas com probabilidade: Média, Alta e Muito alta, e então extraiu-se do mesmo *software* quais equipamentos receberam ordens de serviço para manutenções ligadas a estes tipos de falha. Com a lista destes equipamentos, a equipe técnica realizou uma pesquisa de campo selecionando então os quatro equipamentos mais impactados, conforme Quadro 16.

Quadro 16. Equipamentos mais impactados pelos efeitos da corrosão.








Equipamentos	Registros fotográficos	
Piso chapa de equipamento de carga		
Compressor de ar móvel		
Estrutura de tanque de armazenamento de água		
Eixos de rolos de transporte		

Fonte: Elaborado pelo autor.

Para o Grupo Estruturas, ao contrário de como é feito no grupo anterior, os ativos são gerenciados e controlados manualmente através de planilhas em Excel.

De acordo com os filtros aplicados na busca de manutenções correlacionadas à causa primária corrosão, dentro do mesmo período de 01/01/2015 a 31/07/2021, encontrou-se 4 registros de manutenções relacionadas aos efeitos da corrosão, e para esse grupo os 4 equipamentos selecionados como os mais impactados são descritos no Quadro 17. Os custos destas manutenções também não foram reportados.

Quadro 17. Estruturas mais impactadas pelos efeitos da corrosão.

Estruturas	Registros fotográficos	
Telhas de fechamento lateral de galpões e calhas		
Tubulações e conexões em geral		
Parafusos de fixação em geral		
Esquadria de portas, janelas e maçanetas		

Fonte: Elaborado pelo autor.

O quadro 18 apresenta a lista dos componentes de ambos os grupos, **Estruturas e Equipamentos**, como os mais impactados no que tange os efeitos da maresia até o ano de 2021. A lista foi originada após análise dos registros de manutenção, pesquisas de campo e consenso entre especialistas e *stakeholders* desta empresa.

Quadro 18. Estrutura e equipamentos.

ESTRUTURAS	EQUIPAMENTOS
1. Telhas de fechamento lateral de galpões e calhas	1. Equipamento de carga (piso chapa)
2. Tubulações e conexões em geral	2. Compressor de ar móvel
3. Parafusos de fixação em geral	3. Estrutura de tanque de armazenamento de água
4. Esquadria de portas, janelas e maçanetas	4. Eixos de rolos de transporte

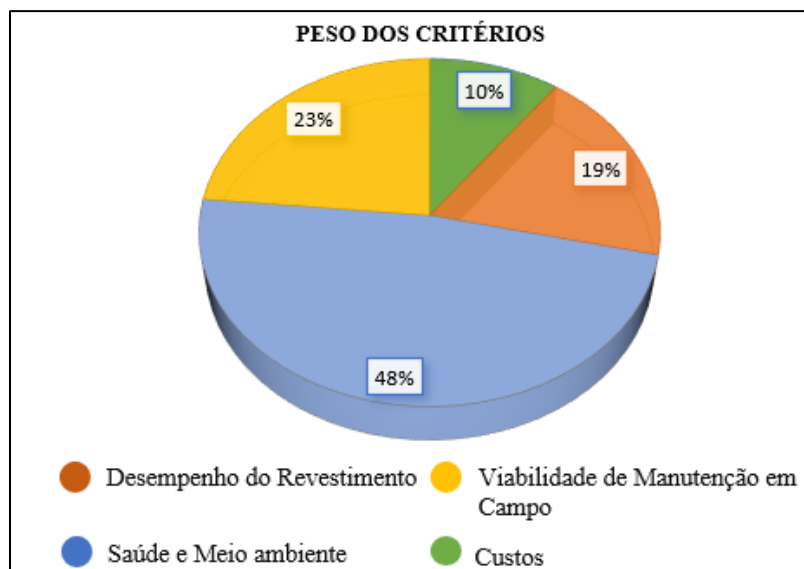
Fonte: Elaborado pelo autor.

Seguindo os critérios de maior número de registros de manutenções, nível de deterioração do material, custo do ativo, possíveis impactos à segurança dos trabalhadores e consenso entre os *stakeholders* selecionou-se as **telhas de fechamento lateral de galpões e calhas** do Grupo Estrutura e o **piso chapa de equipamento de carga** do Grupo Equipamentos, como os selecionados para o modelo de decisão, para determinação do tratamento anticorrosivo mais aderente e adequado para solução do problema.

4.2 Resultados do Método AHP

O Gráfico 6 apresenta os resultados na forma de prioridades, permitindo avaliar de uma forma global quanto um critério é superior ao outro, conferindo ao AHP a capacidade de auxiliar na determinação dos pesos dos critérios em problemas multicriteriais. É importante ressaltar que a qualidade dos resultados depende estreitamente da qualidade dos julgamentos (COSTA, 2006).

Gráfico 6. Resultado da modelagem através do AHP para determinação dos pesos dos critérios para aplicação no MCDA Electre III.



Fonte: Elaborado pelo autor.

O critério **saúde e meio ambiente** foi conferido com o peso de 48% ou 0,48, **viabilidade de manutenção em campo** com 23% ou 0,23, **desempenho do revestimento** com 19% ou 0,19, enquanto o critério **custos** recebeu o peso de 10% ou 0,1.

4.3 Resultados do Método Electre III

Os resultados da modelagem serão apresentados em diferentes seções, sendo a primeira para o grupo equipamentos e a segunda para o grupo estruturas, visto que o *software* não executa a modelagem simultânea para ambos os grupos.

4.3.1 Grupo Equipamentos

Após a modelagem dos dados através do *software* Diviz, foram geradas as matrizes de concordância (Quadro 19), discordância (Quadro 20) e credibilidade (Quadro 21):

Quadro 19. Matriz de concordância para o equipamento selecionado.

Alternativas	Alternativas				
	A01	A02	A03	A04	A05
A01 - Pintura epóxi	1.00000000	0.100000076	0.33000007	0.77000000	0.24000007
A02 - Galvanização de Zinco	0.95000000	1.00000000	1.00000000	1.00000000	0.90000000
A03 - Inox 316L	0.67000000	0.70750000	1.00000000	0.77000000	0.67000000
A04 - Níquel	0.90000000	0.48250008	0.5200001	1.00000000	0.42000008
A05 - Revestimento temporário	0.81000000	0.81000000	0.81000000	0.81000000	1.00000000

Fonte: Elaborado pelo autor.

Quadro 20. Matriz de discordância para o equipamento selecionado. c01: Custos; c02: Desempenho do Revestimento; c03: Viabilidade de Manutenção em Campo; c04: Saúde e Meio Ambiente.

Alternativas	Alternativas				
	A01	A02	A03	A04	A05
A01	C01: 0.0	C01: 0.0	C01: 0.0	C01: 0.0	C01: 0.0
	C02: 0.0	C02: 0.0	C02: 0.0	C02: 0.0	C02: 0.0
	C03: 0.0	C03: 0.0	C03: 0.0	C03: 0.0	C03: 0.0
	C04: 0.0	C04: 0.0	C04: 0.0	C04: 0.0	C04: 0.0
A02	C01: 0.0	C01: 0.0	C01: 0.0	C01: 0.0	C01: 0.09
	C02: 0.0	C02: 0.0	C02: 0.0	C02: 0.0	C02: 0.0
	C03: 0.0	C03: 0.0	C03: 0.0	C03: 0.0	C03: 0.0
	C04: 0.0	C04: 0.0	C04: 0.0	C04: 0.0	C04: 0.0
A03	C01: 0.15	C01: 0.0	C01: 0.0	C01: 0.0	C01: 0.0
	C02: 0.0	C02: 0.0	C02: 0.0	C02: 0.0	C02: 0.0
	C03: 0.0	C03: 1.0	C03: 0.0	C03: 1.0	C03: 1.0
	C04: 0.0	C04: 0.0	C04: 0.0	C04: 0.0	C04: 0.0
A04	C01: 0.05	C01: 0.0	C01: 0.0	C01: 0.0	C01: 0.35
	C02: 0.0	C02: 0.0	C02: 0.0	C02: 0.0	C02: 0.0
	C03: 0.0	C03: 0.0	C03: 0.0	C03: 0.0	C03: 0.0
	C04: 0.0	C04: 0.0	C04: 0.0	C04: 0.0	C04: 0.0
A05	C01: 0.0	C01: 0.0	C01: 0.0	C01: 0.0	C01: 0.0
	C02: 0.1	C02: 1.0	C02: 1.0	C02: 1.0	C02: 0.0
	C03: 0.0	C03: 0.0	C03: 0.0	C03: 0.0	C03: 0.0
	C04: 0.0	C04: 0.0	C04: 0.0	C04: 0.0	C04: 0.0

Fonte: Elaborado pelo autor.

Quadro 21. Matriz de credibilidade para o equipamento selecionado.

Alternativas	Alternativas				
	A01	A02	A03	A04	A05
A01 - Pintura epóxi	1.00000000	0.100000076	0.33000007	0.77000000	0.24000007
A02 - Galvanização de Zinco	0.95000000	1.00000000	1.00000000	1.00000000	0.90000000
A03 - Inox 316L	0.67000000	0.00000000	1.00000000	0.00000000	0.00000000
A04 - Níquel	0.90000000	0.48250008	0.5200001	1.00000000	0.42000008
A05 - Revestimento temporário	0.00000254	0.00000000	0.00000000	0.00000000	1.00000000

Fonte: Elaborado pelo autor.

As próximas etapas para geração do *ranking* final das alternativas foram as destilações ascendente e descendente, como mostra a Tabela 8.

Tabela 8. Destilações ascendentes e descendentes para o equipamento selecionado.

Alternativas	Ascendente	Alternativas	Descendente
A02 - Galvanização de Zinco	1.0	A02 - Galvanização de Zinco	1.0
A04 - Níquel	2.0	A04 - Níquel	2.0
A05 - Revestimento temporário	2.0	A03 - Inox 316L	3.0
A03 - Inox 316L	4.0	A01 - Pintura epóxi	4.0
A01 - Pintura epóxi	5.0	A05 - Revestimento temporário	4.0

Fonte: Elaborado pelo autor.

Com as destilações geradas, o *software* automaticamente gerou um *ranking* final, representado pela Figura 23.

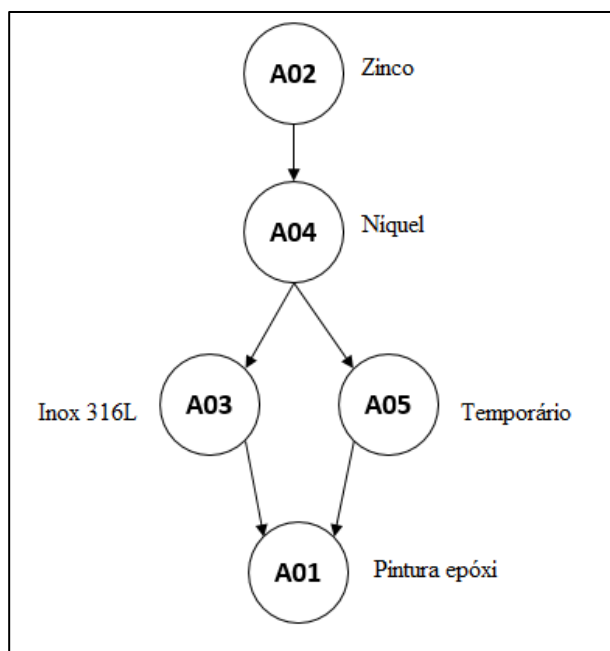


Figura 23. Ranking final das alternativas para o equipamento selecionado para o tratamento contra corrosão.

Fonte: Elaborado pelo autor.

O ranking final gerado pelo *software* Diviz mostra que para o equipamento selecionado no estudo para o tratamento anticorrosivo, a alternativa “a02” ficou com a primeira colocação, representando o tratamento de Galvanização à quente com Zinco. O segundo colocado foi a alternativa “a04”, representando o tratamento com Níquel. Os tratamentos “a03” Inox 316L e “a05” revestimento temporário obtiveram empate na terceira classificação, e na última colocação a modelagem retornou o tratamento de pintura epóxi, representado por “a01”.

O modelo sugere, portanto, com base nos dados levantados na pesquisa de campo, análise e julgamento dos especialistas e parâmetros definidos para a modelagem no *software*, que o **piso chapa de equipamento de carga**, escolhido como o equipamento prioritário, receba o tratamento de **galvanização à quente por imersão em zinco** para mitigar os problemas de corrosão atmosférica e reduzir assim os impactos gerados por tal fenômeno. Originalmente esse equipamento foi protegido por pintura epóxi.

4.3.2 Grupo Estruturas

Da mesma forma que o Grupo dos Equipamentos na seção anterior, foi realizada a modelagem dos julgamentos e parâmetros definidos para o Grupo Estrutura através do *software* Diviz, e então geradas as matrizes de concordância (Quadro 22), discordância (Quadro 23) e credibilidade (Quadro 24):

Quadro 22. Matriz de concordância para a estrutura selecionada.

Alternativas	Alternativas			
	A01	A02	A03	A04
A01 - Pintura epóxi	1.00000000	0.330000007	0.10000076	0.52000004
A02 - Galvanização de Zinco	0.96250000	1.00000000	0.77000000	1.00000000
A03 - Galvalume	0.93750000	1.00000000	1.00000000	1.00000000
A04 - Inox 316	0.67000000	0.67000000	0.67000000	1.00000000

Fonte: Elaborado pelo autor.

Quadro 23. Matriz de discordância para a estrutura selecionada. c01: Custos; c02: Desempenho do Revestimento; c03: Viabilidade de Manutenção em Campo; c04: Saúde e Meio Ambiente.

Alternativas	Alternativas			
	A01	A02	A03	A04
A01	C01: 0.0	C01: 0.0	C01: 0.0	C01: 0.0
	C02: 0.0	C02: 0.0	C02: 0.0	C02: 0.0
	C03: 0.0	C03: 0.0	C03: 0.0	C03: 0.0
	C04: 0.0	C04: 0.0	C04: 0.0	C04: 0.0
A02	C01: 0.0	C01: 0.0	C01: 0.0	C01: 0.0
	C02: 0.0	C02: 0.0	C02: 0.0	C02: 0.0
	C03: 0.0	C03: 0.0	C03: 0.0	C03: 0.0
	C04: 0.0	C04: 0.0	C04: 0.0	C04: 0.0
A03	C01: 0.0	C01: 0.0	C01: 0.0	C01: 0.0
	C02: 0.0	C02: 0.0	C02: 0.0	C02: 0.0
	C03: 0.0	C03: 0.0	C03: 0.0	C03: 0.0
	C04: 0.0	C04: 0.0	C04: 0.0	C04: 0.0
A04	C01: 0.35	C01: 0.1	C01: 0.0	C01: 0.0
	C02: 0.0	C02: 0.0	C02: 0.0	C02: 0.0
	C03: 0.0	C03: 0.0	C03: 1.0	C03: 0.0
	C04: 0.0	C04: 0.0	C04: 0.0	C04: 0.0

Fonte: Elaborado pelo autor.

Quadro 24. Matriz de credibilidade para a estrutura selecionada.

Alternativas	Alternativas			
	A01	A02	A03	A04
A01 - Pintura epóxi	1.00000000	0.330000007	0.10000076	0.52000004
A02 - Galvanização de Zinco	0.96250000	1.00000000	1.77000000	1.00000000
A03 - Galvalume	0.93750000	1.00000000	1.00000000	1.00000000
A04 - Inox 316	0.67000000	0.67000000	0.00000000	1.00000000

Fonte: Elaborado pelo autor.

As próximas etapas para geração do ranking final das alternativas foram as destilações ascendente e descendente, como mostra a Tabela 9.

Tabela 9. Destilações ascendentes e descendentes para a estrutura selecionada.

Alternativas	Ascendente	Alternativas	Descendente
A02 - Galvanização de Zinco	1.0	A03 - Galvalume	1.0
A03 - Galvalume	1.0	A02 - Galvanização de Zinco	2.0
A04 - Inox 316	3.0	A01 - Pintura epóxi	3.0
A01 - Pintura epóxi	4.0	A04 - Inox 316	3.0

Fonte: Elaborado pelo autor.

Com as destilações geradas, o *software* automaticamente gerou um *ranking* final, representado pela Figura 24.

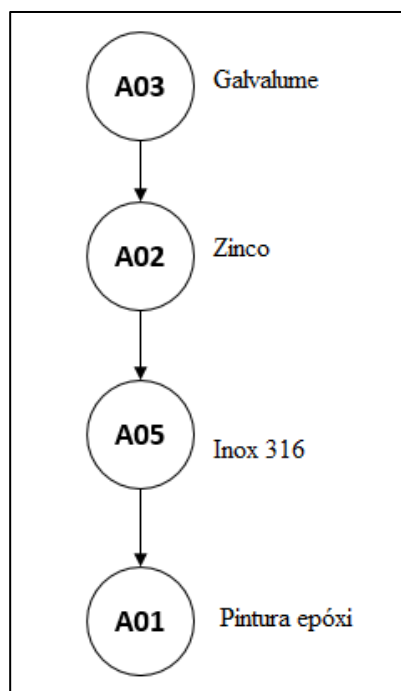


Figura 24. Ranking final das alternativas para a estrutura selecionada para o tratamento contra corrosão.

Fonte: Elaborado pelo autor.

O ranking final gerado pelo software Diviz mostra que para a estrutura selecionada no estudo para o tratamento anticorrosivo, a alternativa “a03” ficou com a primeira colocação, recomendando a substituição das telhas e calhas por material fabricado em galvalume. O segundo colocado foi a alternativa “a02”, representando o tratamento de Zinco. Na sequência vem o tratamento de Inox 316, representado pela alternativa “a05” e na última colocação a modelagem retornou o tratamento de pintura epóxi, representado por “a01”.

O modelo sugere, portanto, com base nos dados levantados na pesquisa de campo, análise e julgamento dos especialistas e parâmetros definidos para a modelagem, assim como foi feito para o Grupo Equipamentos, que as **telhas de fechamento lateral de galpões e calhas** escolhidos como estruturas prioritárias, recebam o tratamento de **galvalume** para mitigar os problemas de corrosão atmosférica e reduzir assim os impactos gerados pelo fenômeno.

Não foi possível identificar através dos dados fornecidos pela empresa qual foi o material utilizado no projeto de construção dos galpões, mas de acordo com análises da equipe técnica,

sugere-se que originalmente as telhas e calhas foram fabricadas de chapas de alumínio revestidas por pintura epóxi não padronizada.

Geralmente tais telhas e calhas são fabricadas com chapas finas de aço, posteriormente galvanizadas. No entanto, o que se observou foi que tal tratamento não foi suficiente ou adequado, visto que as telhas e calhas passaram por um processo de corrosão acelerada. Talvez pelo grau de exposição, a escolha do material base não tenha sido bem empregada.

Em adição, de acordo com a equipe de especialistas desta empresa, é necessário adicionar uma camada de pintura epóxi à base de alumínio sobre o galvalume para neutralizar os efeitos dos sais que são arrastados pelos ventos e depositados nos telhados e com as chuvas estes atingem as calhas e chapas de fechamento lateral dos galpões industriais, vindo a acelerar o processo corrosivo dos materiais.

4.4 Descobertas Adicionais da Pesquisa (*Findings*)

Durante a pesquisa de campo para levantamento fotográfico dos equipamentos e estruturas, notou-se que as estruturas mais prejudicadas e impactadas pelos efeitos da corrosão estão localizadas nas laterais do parque industrial que recebem os ventos no sentido colateral Nordeste, conforme ilustrado pelas Figuras 25 e 26.

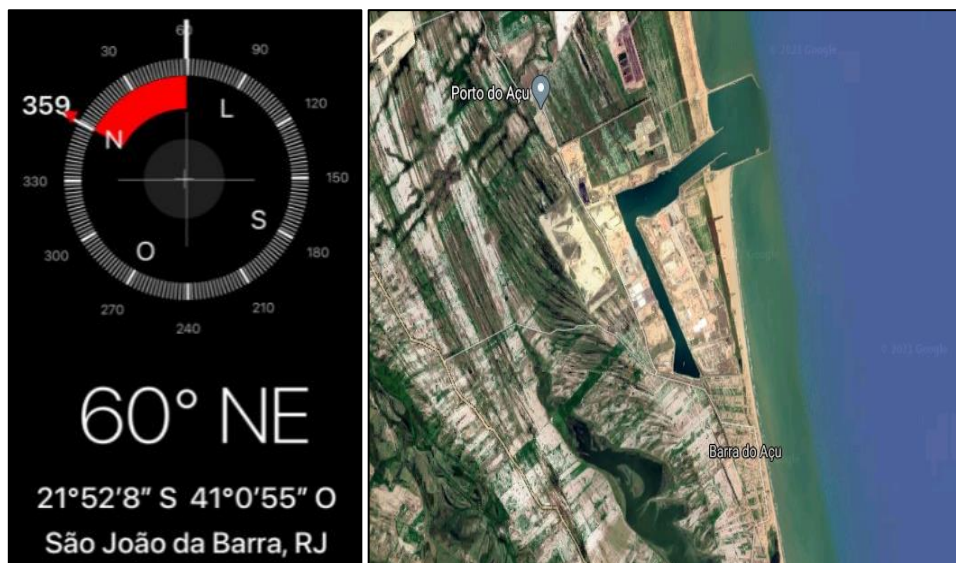


Figura 25. Vista aérea do CPA demonstrando o posicionamento dos equipamentos e estruturas mais prejudicados pelos efeitos da maresia.

Fonte: Google Maps (2021).



Figura 26. Vista aérea com representação dos ventos incidindo nas indústrias do CPA.

Fonte: Google Maps (2021).

Durante a validação do critério Desempenho do Revestimento e seus atributos, constatou-se que não é correto afirmar que a durabilidade estimada dos tratamentos avaliados em campo são aplicáveis para outras regiões, mesmo dentro do Complexo do Porto do Açú, sendo essa análise muito específica e pontual de cada região, pois, conforme abordado no referencial teórico, o spray da maresia é carregado pelos ventos, portanto o *layout* da fábrica pode ou não contribuir para o depósito das névoas salinas nas superfícies dos equipamentos e estruturas metálicas, acelerando assim o processo de corrosão.

5 DISCUSSÃO

A corrosão, conforme divulgado nos relatórios da NACE, traz um grande impacto para a economia em âmbito mundial, e esses prejuízos afetam principalmente aquelas indústrias que estão instaladas em locais que exprimem altos níveis de corrosão atmosférica, local onde o Complexo do Porto do Açú está inserido.

O mercado de trabalho atual exige que as empresas busquem cada vez mais enxugar os seus custos internos de operação, para trazer maiores margens de lucro para seus serviços e produtos (LI *et al.*, 2017), buscando ferramentas que proporcionem dinamismo nas tomadas de decisão (WALTER; PALADINI, 2019).

Silva (2019), em sua pesquisa observacional realizada no CPA apontou que o problema da corrosão atmosférica atinge as empresas e já é de conhecimento dos gestores. No ano de 2019, olhando para os cinco primeiros anos de operação do Porto do Açú, os efeitos da corrosão culminaram principalmente em perda de produtividade e atrasos nas entregas e multas. Após 3 anos, esta pesquisa nos mostrou que os danos causados pela corrosão indicam tendência de maiores impactos, caso um plano de mitigação e ação não sejam estabelecidos.

Nesta presente pesquisa utilizou-se a base de dados da referida empresa e entrevistas técnicas com a área de manutenção, para determinação dos equipamentos mais críticos à operação, os quais potencialmente podem trazer impactos financeiros para a empresa. Na pesquisa de Silva *et al.* (2019), os equipamentos e estruturas foram selecionados de forma arbitrária, apresentando-os como exemplos dos danos causados pela corrosão atmosférica no Porto do Açú.

Sabe-se que os problemas de corrosão podem ser tratados por inúmeras técnicas anticorrosivas disponíveis em literatura e no mercado, não havendo uma técnica singular que trate cada problema (ROBERGE, 2008). Ou seja, para um mesmo problema haverá inúmeras soluções, e a escolha daquela mais adequada dependerá das expectativas quanto ao nível de proteção, durabilidade, impactos ao meio ambiente e os custos envolvidos (CORROSION CONFERENCE AND EXPO, 2016).

Prasad *et al.* (2020) realizaram um trabalho na área de óleo e gás e apresentaram o gerenciamento dos tratamentos anticorrosivos como uma estratégia fundamental para prolongar a

vida útil dos equipamentos de produção. Habib *et al.* (2021) complementam que a decisão do não tratamento dos equipamentos pode acarretar massivas perdas econômicas, apontando então as proteções, revestimentos metálicos, óleos vegetais, entre outros métodos, como opções viáveis para o tratamento preventivo de estruturas e equipamentos expostos às diferentes intempéries.

Para determinar os tipos de materiais e tratamentos mais adequados, as empresas e indústrias precisam primeiramente entender em qual contexto sua organização está inserida, se existem normas específicas aplicáveis, se há requisitos ambientais que limitam certos produtos químicos, se seus clientes especificam e limitam a seleção e escolha de determinados materiais, a fim de criar um plano consistente de prevenção respeitando tais exigências, caso estas existam.

Neste trabalho foi demonstrado que, devido a localização estratégica da referida indústria ser em uma região portuária, torna-se de suma importância a seleção de protetores anticorrosivos, pois eles podem aumentar exponencialmente a vida útil dos equipamentos e das estruturas, evitando assim o processo corrosivo.

Nesse sentido, Surnam *et al.* (2016) realizaram uma pesquisa em região de portos nas Maurícias em dois diferentes locais, um marinho industrial, assim como na indústria do presente trabalho e outro puramente marinho, chamado Belle Mare. Na análise experimental, foram expostas amostras de aço de baixo carbono para investigar as características superficiais das camadas de ferrugem, por meio de espectroscopia, a fim de se obter uma melhor compreensão do mecanismo do processo de corrosão atmosférica.

Os resultados apontaram principalmente para a região de corrosão marinha, com maiores concentrações de íons de cloreto e sais minerais e, portanto, mais agressiva, para Belle Mare, que os produtos de corrosão mudaram significativamente após 3 anos de exposição. Silva (2019) também avaliou alguns equipamentos construídos com aço de baixo carbono, demonstrando os efeitos da corrosão atmosférica após 5 anos de operação em região de portos no Brasil. Esses dados corroboram com a importância levantada no presente trabalho onde as ações mitigadoras do produto da corrosão podem aumentar a vida útil dos equipamentos e estruturas e, conseqüentemente, reduzir os custos não provisionados.

Mardare *et al.* (2016) realizaram uma análise comparativa em relação à resistência a corrosão de diferentes materiais: a) aço naval não revestido EN32, b) aço naval revestido EN32

com um primer polimérico de dois componentes e c) aço naval revestido EN32 com primer polimérico bicomponente seguido de pintura com tinta epóxi poliuretânica. Os experimentos de corrosão foram realizados utilizando uma célula com três eletrodos, reproduzindo em bancada de teste os efeitos da corrosão atmosférica marinha.

Como resultado, foi apontado um aumento de desempenho para ambos os revestimentos, quando comparado ao aço não revestido. Os autores não incluíram em sua pesquisa a possibilidade de novos revestimentos, o que potencialmente poderiam trazer maior desempenho à corrosão, conforme demonstrado no presente trabalho, onde foi recomendado a substituição do tratamento de pintura epóxi por galvanização de zinco à quente.

Os métodos multicriteriais aparecem com o propósito de auxiliar na tomada de decisão de problemas complexos que envolvem inúmeras variáveis (VINCKE, 1992). Muitos trabalhos empregam a metodologia MCDA para auxiliar os gestores na tomada de decisão em problemas de múltiplas variáveis da área técnica industrial.

De acordo com a literatura disponível, a estratégia e negócio da referida empresa, os requisitos técnicos da área de corrosão e as legislações vigentes, a área técnica da empresa em consenso com os *stakeholders* definiram os seguintes critérios: Custo, Desempenho do Revestimento, Saúde e Meio Ambiente e Viabilidade de Manutenção em Campo. Carpitella *et al.* (2021), em pesquisa que envolve manutenção industrial em uma indústria italiana de fabricação de sal, adotaram os critérios custos, segurança e meio ambiente e capacidade de manutenção na sua modelagem multicritério, critérios estes semelhantes aos definidos neste trabalho.

O método AHP por ser considerado um método de partilha, foi aplicado nesta pesquisa na fase de ponderação dos critérios para a modelagem através do Electre III. A escolha do método AHP trouxe maior robustez para a metodologia deste trabalho, visto que inicialmente a variável custo havia sido considerada arbitrariamente como prioritária, portanto, assumindo maior peso. Entretanto, de forma contraditória, durante discussões internas com os gestores e especialistas da empresa foi consensual que para os problemas de corrosão, os demais critérios assumiriam maior peso, visto que o modelo de negócio e cultura desta organização, preza por avaliar todas as vertentes durante uma tomada de decisão, onde Saúde e Meio Ambiente, para esse caso, assumiu um critério de maior relevância durante a escolha do tratamento anticorrosivo.

Após a definição dos pesos dos critérios no método AHP, foi modelado o método Electre III, retornando como resultado para o Grupo Equipamentos, a escolha da galvanização à quente de zinco como sendo o tratamento mais adequado para mitigar os efeitos da corrosão atmosférica, e para o Grupo Estruturas, a escolha do galvalume para substituir as telhas e calhas fabricada de material não identificado.

O mesmo resultado pôde ser visto por Castañeda *et al.* (2018), que avaliaram por um ano o nível de corrosão atmosférica em uma zona portuária industrial costeira cubana, em um complexo industrial. Os materiais avaliados foram: aço carbono (C: 0.13–0.2%, Mn: 0.39%, Al: 0.02%, S < 0.05%, e P < 0.07%), cobre com 99.85% de pureza (S: 0.01%, Bi: 0.003%, Pb: 0.005%, Sb: 0.05%), aço galvanizado (galvanizado à quente com espessura aproximada de 21 μ m de zinco) e alumínio com 99,5% de pureza. Os autores concluíram que o aço galvanizado de zinco à quente a médio e longo prazo deve ser o material menos afetado pela corrosão atmosférica em região de corrosividade C5, que é o mesmo nível apontado para o Porto do Açú, o que corrobora com nossos resultados.

O equipamento **piso chapa de equipamento de carga**, selecionado nesta pesquisa como prioritário, originalmente possuía o tratamento anticorrosivo de pintura epóxi, o qual não foi possível identificar o padrão de pintura especificado em projeto. Entretanto, conforme análise de campo, constatou-se que o equipamento piso chapa estava em degradação acelerada com perda de matéria evidente, concluindo desta forma que o revestimento epóxi não foi o mais apropriado para a sua aplicação, ou não foi utilizado um padrão de pintura adequado conforme norma de aplicação, indicando que este procedimento de proteção anticorrosiva deveria ser revisto, reforçando a recomendação de aplicação da galvanização à quente de zinco.

É possível evidenciar em trabalhos publicados, que os métodos multicritérios estão presentes nos mais variados segmentos, demonstrando a sua versatilidade de aplicação. Bukhsh *et al.* (2018) aplicaram em sua pesquisa dois métodos baseados em síntese (AHP e MAUT) e um método de superação (Electre III) em um mesmo problema de tomada de decisão para o planejamento de manutenção de 22 pontes rodoviárias da rede rodoviária da Holanda, para avaliá-los quanto à sua escalabilidade, facilidade de uso, consideração de risco, e alguns outros aspectos. Os autores concluíram que se a estrutura de ponderação dos critérios e as preferências das partes

interessadas são mantidos estáveis, os diferentes métodos MCDA, mesmo tendo diferentes procedimentos de aplicação, são capazes de fornecer resultados semelhantes.

Carpitella *et al.* (2021) utilizaram o Electre III para classificar um conjunto de riscos principais relacionados à execução das intervenções de manutenção. Em consonância com a presente pesquisa, os resultados obtidos pelos autores são de interesse prático para a referida empresa, uma vez que a abordagem representa uma forma estruturada de minimizar o impacto de potenciais riscos em um processo tão crucial como a gestão da manutenção.

Anojkumar *et al.* (2015), apresentaram um modelo de tomada de decisão para avaliar o material ideal para fabricação de tubos utilizados numa indústria açucareira indiana com a finalidade de reduzir o desgaste corrosivo. Foi aplicado o método AHP para determinação dos pesos dos critérios, ficando evidente que o critério custos assumiu o maior peso no modelo de decisão, contrastando com a decisão tomada na presente pesquisa, sendo essa decisão inerente a cada modelo de negócio e o objetivo da solução de cada problema. Por fim, o método aplicado pelos autores foi o modelo híbrido, TOPSIS integrado ao modelo VIKOR para a modelagem de decisão, onde selecionou-se o Aço J4 como o material candidato para mitigar os impactos da corrosão nessa indústria (ANOJKUMAR; ILANGKUMARAN; SASIREKHA, 2014).

Pereira e Morais (2020), propuseram um modelo de decisão baseado em uma abordagem multicritério para priorizar ações de manutenção em poços de água subterrânea. Os autores incluíram em sua metodologia uma etapa intermediária de aprendizagem ao modelo, utilizando uma ferramenta chamada SODA (*Strategic Options Development and Analysis*), devido à sua capacidade de promover a interação entre as ideias de todos os participantes, criando assim um ambiente de aprendizagem e configurando um *design* unificado para o contexto analisado. O mesmo modelo de aprendizagem foi aplicado fortuitamente na presente pesquisa, entretanto baseado na experiência da organização.

Outras metodologias, além do MCDA, podem ser encontradas e empregadas em soluções de problemas com múltiplas variáveis em segmentos distintos. Desta forma, sugere-se para trabalhos futuros, a análise e o emprego de outras metodologias que possam colaborar com a prevenção da corrosão nos ambientes industriais.

Por fim, conforme evidenciado neste presente trabalho, não há um número representativo de pesquisas que envolvam a metodologia multicriterial aplicadas em problemas de corrosão atmosférica em indústrias localizadas em regiões portuárias. Os estudos em grande parcela focam na análise dos impactos causados nas estruturas dos portos e terminais de acostagem, e não nas indústrias que ocupam os portos. Assim, conclui-se que o tema é relevante e apresenta-se como uma excelente oportunidade de pesquisas mais direcionadas a essa área.

5.1 Contribuições

Neste trabalho foi mapeado os equipamentos e estruturas mais impactados pelos efeitos da corrosão em um parque industrial instalado no CPA, e através de uma modelagem multicriterial modelou-se a decisão de ranqueamento de tratamentos anticorrosivos para tratar os problemas desses bens. O modelo proposto permitiu uma abordagem adequada para tratar problemas da área de corrosão, se revelando como uma importante ferramenta de auxílio na tomada de decisão que pode ser utilizada pelos gestores e empresas nos mais variados segmentos e regiões.

Os resultados obtidos neste estudo foram validados por engenheiros e especialistas da área, e foram julgados como consistentes para tratar o problema de corrosão em área industrial portuária, apontando a galvanização à quente de zinco e o galvalume, como as escolhas adequadas para mitigar os efeitos da maresia no equipamento e na estrutura selecionados como prioritários, revelando o método multicriterial como uma ferramenta adequada de apoio à decisão aos gestores para tratar problemas de múltiplas variáveis das áreas de corrosão. Recomenda-se, portanto, a inclusão desses tratamentos dentro do plano de manutenção e nos projetos de novos equipamentos e estruturas desta empresa.

Por fim, a pesquisa se apresenta como um modelo para os demais processos internos da referida indústria desta pesquisa, bem como para outras indústrias que operam em área portuária ou em regiões litorâneas e sofrem os mesmos impactos da corrosão e necessitam, portanto, melhorar os seus resultados financeiros e processos internos.

5.2 Limitações

As limitações deste estudo referem-se, primeiramente, a falta de dados presentes no sistema de manutenção da empresa que convergiam diretamente aos problemas de corrosão. A ausência dessas informações foi resolvida através de um diagnóstico técnico que correlacionava os tipos de falhas registrados no sistema com a probabilidade destes registros estarem ligados aos efeitos da corrosão atmosférica.

Para o Grupo Estruturas, os registros de manutenção são controlados por planilhas, dependendo intrinsecamente do controle humano, o que por consequência aumentou as chances de haver registros não capturados e lançados na planilha de controle. Tal fato exigiu mais uma vez uma verificação *in loco* das condições de cada equipamento e estrutura, para mitigar o risco de escolha daqueles não prioritários para o estudo e para a empresa.

A participação dos especialistas e engenheiros como avaliadores dos critérios e construção da matriz de pagamento inerente ao método escolhido poderia ter sido estendida a alguns fornecedores e parceiros da empresa, que atuam primordialmente na área de corrosão industrial, com a finalidade de trazer ainda mais robustez no julgamento.

Não foi possível realizar um estudo exaustivo do método MCDA escolhido para tratar o problema desta empresa, com a finalidade de avaliar a sensibilidade da modelagem, afim de entender se discretas variações nos julgamentos dos especialistas poderiam afetar o ranqueamento dos tipos de tratamentos anticorrosivos, pois tal tratativa estenderia o prazo para a tomada de decisão quanto à escolha dos tratamentos anticorrosivos mais aderentes, visto que a corrosão já estava instalada e afetando os resultados financeiros desta empresa.

Por fim, não foi considerado um MCDA alternativo ao Electre III para um comparativo de robustez de cada método e discussão dos resultados.

5.3 Trabalhos futuros

Recomenda-se para trabalhos futuros o aprofundamento sobre os impactos da corrosão em determinadas posições geográficas na região portuária do Açú, o que potencialmente são influenciados pelos sentidos dos ventos que carregam as névoas salinas, conduzindo-as às superfícies dos equipamentos e estruturas que ficam desabrigados bem como aos galpões industriais e variadas construções civis. Esse estudo permitirá uma análise mais precisa de tais efeitos, assim como um levantamento de estratégias de proteção indireta, como por exemplo, a adoção de paredões verdes de eucalipto ou outras espécies que se adequem às condições climáticas do local e que sejam resistentes aos efeitos da maresia. Estes paredões podem ser inseridos nas laterais e divisas entre as empresas com a função de barreira de contenção dos sprays salinos.

Como segunda oportunidade para trabalhos futuros, temos as termoelétricas instaladas no CPA, onde recomenda-se estudos sobre os possíveis impactos causados pela geração dos poluentes resultantes do processo de conversão de energia química presente nos combustíveis líquidos, sólidos ou gasosos, que por meio de combustão geram energia térmica (FERREIRA *et al.*, 2016). Portanto é recomendado estudos que permitam entender quais são os impactos efetivos dos processos de geração de energia da termoelétrica, uma vez que os poluentes gerados podem ser transportados pelos ventos no sentido às indústrias do Porto, caso de fato seja caracterizado uma ameaça às empresas do CPA.

Por fim, assim como realizado nas pesquisas de Castañeda *et al.* (2018), Nuraini *et al.* (2018), Natesan *et al.* (2008b) entre outros autores que expuseram corpos de provas de diferentes materiais em região costeira para análise dos impactos da corrosão em termos de perda de matéria após um período de tempo, é recomendável um estudo similar específico para a região do Complexo do Porto do Açú, o que servirá como base de dados para as empresas presentes nessa área.

6 CONCLUSÃO

A corrosão impacta os resultados financeiros de inúmeras empresas, principalmente aquelas instaladas em regiões que exprimem elevadas concentrações de íons de cloreto, formando o fenômeno conhecido como maresia, em especial a indústria selecionada para esta pesquisa.

Este estudo permitiu levantar e ranquear a lista de equipamentos e estruturas mais afetados em uma operação industrial. Destacou-se a importância de se ter os dados claros e informações completas no sistema de manutenção das áreas de manutenção industrial e predial, os quais podem ser processados e convertidos em planos de ações que permitirão dar suporte aos gestores nas tomadas de decisão para priorização de manutenção.

Para o Grupo Equipamentos, os mais impactados pela corrosão foram: piso chapa de equipamento de transporte de carga, compressor de ar comprimido móvel, estrutura de tanque de armazenamento de água e eixo de rolos de transporte. Já as estruturas mais impactadas foram: telhas e calhas de galpões, tubulações e conexões em geral, parafusos de fixação em geral e esquadrias de portas, janelas e maçanetas.

Em virtude da modelagem multicriterial Electre III, foi definido o tratamento de galvanização de zinco como o mais adequado para substituir a pintura epóxi, atual tratamento anticorrosivo do equipamento selecionado como prioritário. Para a estrutura, a modelagem indicou o galvalume, que é uma composição de alumínio, zinco e silício, para substituição das telhas e calhas atuais, cujo os materiais não foram identificados.

Tendo em vista o MCDA utilizado, e os resultados confirmados pelos especialistas desta empresa como adequados na abordagem de problemas de corrosão, conclui-se que o método Electre III respondeu positivamente os objetivos propostos. Espera-se com a implementação dos novos tratamentos anticorrosivos um aumento de no mínimo 5 anos na vida útil desses equipamentos e estruturas.

Em decorrência da ação dos ventos que transportam as névoas salinas sentido ao porto, identificou-se que as estruturas e equipamentos mais impactados pelos efeitos da corrosão atmosférica, estão localizados nas laterais do parque industrial que recebem os ventos no sentido colateral Nordeste, podendo esta análise ser alvo de futuras pesquisas.

Por fim, recomenda-se ao Porto do Açu e indústrias a fomentação de iniciativas e fóruns que possam discutir o tema corrosão e seus reais impactos, com o objetivo de criar indicadores e banco de dados com possíveis soluções voltadas para o combate da corrosão atmosférica, que vão além da deterioração das estruturas portuárias, e afetam as indústrias que utilizam o espaço do porto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT 06323. **NBR 06323: Produtos de Aço ou Ferro Fundido Revestidos de Zinco por Imersão à Quente**: ABNT. Brasil: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1990.

ALMEIDA-DIAS, J.; FIGUEIRA, J. R.; ROY, B. *European Journal of Operational Research*. **Electre Tri-C: A multiple criteria sorting method based on characteristic reference actions**, v. 204, n. 3, p. 565–580, ago. 2010.

ANOJKUMAR, L.; ILANGKUMARAN, M.; SASIREKHA, V. **Comparative analysis of MCDM methods for pipe material selection in sugar industry**. *Expert Systems with Applications*, v. 41, n. 6, p. 2964–2980, Maio 2014.

ANOJKUMAR, L.; ILANGKUMARAN, M.; VIGNESH, M. **A decision making methodology for material selection in sugar industry using hybrid MCDM techniques**. *International Journal of Materials and Product Technology*, v. 51, n. 2, p. 102, 2015.

ARAÚJO, A. L. R.; SILVA, N. S. S. **Desenvolvimento de uma câmara de névoa salina para simulação e análise da ação da maresia na região litorânea da cidade de São Luís - Projeto de viabilidade da implementação do primeiro laboratório de corrosão da universidade estadual do Maranhão**. São Luís - MA: Universidade Estadual do Maranhão, 2019.

ATLANTIQUE BRETAGNE-PAYS DE LA LOIRE, I. **Diviz - XMCD v4 edition 1**. France: IMT - Institut Mines Telecom, 2021.

B08 COMMITTEE. **ASTM B766-15: Specification for Electrodeposited Coatings of Cadmium**. United States of American: ASTM International, 2015a. Disponível em: <<http://www.astm.org/cgi-bin/resolver.cgi?B766-86R15>>. Acesso em: 20 jul. 2021.

B08 COMMITTEE. **ASTM B850: Guide for Post-Coating Treatments of Steel for Reducing the Risk of Hydrogen Embrittlement**. United States of American: ASTM International, 2015b. Disponível em: <<http://www.astm.org/cgi-bin/resolver.cgi?B850-98R15>>. Acesso em: 20 jul. 2021.

B08 COMMITTEE. **ASTM B841: Specification for Electrodeposited Coatings of Zinc Nickel Alloy Deposits**. United States of American: ASTM International, 2018. Disponível em: <<http://www.astm.org/cgi-bin/resolver.cgi?B841-18>>. Acesso em: 20 jul. 2021.

BARRETO, W. DE S. **Seleção de livros e conteúdo programático de disciplina por auxílio multicritério à decisão**. Campos dos Goytacazes, RJ: UNIVERSIDADE CANDIDO MENDES - UCAM, 2015.

BERTÓ, D. J.; BEULKE, R. **Gestão de Custos**. 3^a ed. São Paulo (SP): SARAIVA, 2014.

BOTTERO, M. et al. **Dealing with a multiple criteria environmental problem with interaction effects between criteria through an extension of the Electre III method.** European Journal of Operational Research, v. 245, n. 3, p. 837–850, set. 2015.

BUCHANAN, J.; SHEPPARD, P. **Project ranking using Electre III.** Project ranking using Electre III, p. 21, 1999.

BUCHANAN, J. T.; HENIG, E. J.; HENIG, M. I. **Objectivity and subjectivity in the decision making process.** Annals of Operations Research, p. 333–345, 1998.

BUKSH, Z. A. et al. **Evaluation and Application of AHP, MAUT and ELECTRE for Infrastructure management.** In: LIFE CYCLE ANALYSIS AND ASSESSMENT IN CIVIL ENGINEERING: TOWARDS AN INTEGRATED VISION: PROCEEDINGS OF THE SIXTH INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON LIFE-CYCLE CIVIL ENGINEERING. Ghent, Belgium: 2018.

CARDOZO, J. C. **Utilização da Ipomoea pes-caprae (L.) Br. Convolvulaceae em sistema microemulsionado na inibição à corrosão do aço carbono.** Natal RN: Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2016.

CARPITELLA, S. et al. **A risk evaluation framework for the best maintenance strategy: The case of a marine salt manufacture firm.** Reliability Engineering & System Safety, v. 205, p. 107265, jan. 2021.

CASTAÑEDA, A.; VALDÉS, C.; CORVO, F. **Atmospheric corrosion study in a harbor located in a tropical island.** Materials and Corrosion, v. 69, n. 10, p. 1462–1477, out. 2018.

CHEN, N.; XU, Z.; XIA, M. **The ELECTRE I Multi-Criteria Decision-Making Method Based on Hesitant Fuzzy Sets.** International Journal of Information Technology & Decision Making, v. 14, n. 03, p. 621–657, maio 2015.

CORROSION CONFERENCE AND EXPO. **Corrosion Conference and Expo 2016: Vancouver, Canada, 6-10 March 2016.** Red Hook, NY: Curran Associates, Inc, 2016.

COSTA, H. **Auxílio Multicritério à decisão - Método AHP.** Rio de Janeiro, Brazil: Abepro, 2006. v. 1

COSTA, H. G. et al. **ELECTRE TRI aplicado a avaliação da satisfação de consumidores.** Production, v. 17, n. 2, p. 230–245, ago. 2007.

DE SOUSA PEREIRA, L.; MORAIS, D. C. **Multicriteria Decision Model to Establish Maintenance Priorities for Wells in a Groundwater System.** Water Resources Management, v. 34, n. 1, p. 377–392, jan. 2020.

EMERENCIANO, D. P. **Obtenção e caracterização de novos sistemas coloidais a base de óleos das espécies vegetais de Azadirachta indica e Copaifera e suas avaliações como inibidores de corrosão em meio salino.** Tese de Doutorado—Natal RN: Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2017.

- FATOR BRASIL, P. Revista Fator Brasil. **Brasil perde 4% do PIB com corrosão**, p. 1, 2016.
- FELIPE, M. B. M. C. et al. **General Aspects of Corrosion and Plant Inhibitors**. Revista Virtual de Química, v. 5, n. 4, 2013.
- FERNANDES, L. D. et al. **Extratos de folhas e flores como inibidores de corrosão de origem vegetal**. Research, Society and Development, v. 8, n. 1, p. e3981628, 1 jan. 2019.
- FERREIRA, A. L. et al. TERMOELETRICIDADE EM FOCO. **Geração termoeétrica e emissões atmosféricas: poluentes e sistemas de controle**, v. 1, p. 38, 2016.
- FIGUEIRA, J. R. et al. **An Overview of ELECTRE Methods and their Recent Extensions**. Journal of Multi-Criteria Decision Analysis, v. 20, n. 1–2, p. 61–85, jan. 2013.
- FILATIERI, N. DE A.; DE SÁ, A. B. **Utilização do método de análise multicritério Electre I como ferramenta de auxílio na seleção de fornecedores para uma empresa do ramo de autopeças**. XL ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO. Anais In: ENEGEP 2020. Foz do Iguaçu: 2020.
- FLAMINI, S. H. Guia Universitário de Informações Ambientais. **Meio ambiente e meio ambiente do trabalho enquanto questões humanitárias**, v. 2, n. 1, p. 28–29, 2021.
- FRAUCHES-SANTOS, C. et al. **The Corrosion and the Anticorrosion Agents**. Revista Virtual de Química, v. 6, n. 2, 2014.
- GENTIL, V. **Corrosão**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2011.
- GOMES, L. F. A. M.; GONZÁLEZ ARAYA, M. C.; CARIGNANO, C. **Tomada de decisões em cenários complexos**. São Paulo: Thomson, 2004.
- GONÇALVES, T. J. M. **MB-741 Métodos Multicritério de Apoio à Decisão**. Disciplina: Métodos de Apoio Multicritério à Decisão apresentado em ITA: Mestrado Profissional em Produção. São José dos Campos SP, 2013.
- GONZALEZ, K. R. **Toxicologia do níquel**. Revista Intertox de Toxicologia, Risco Ambiental e Sociedade, v. 9, n. 2, 30 jun. 2016.
- GOOGLE MAPS, G. **Google Maps**, 7 abr. 2021. Disponível em: <<https://www.google.com.br/maps/>>. Acesso em: 7 abr. 2021
- HABIB, S.; SHAKOOR, R. A.; KAHRAMAN, R. **A focused review on smart carriers tailored for corrosion protection: Developments, applications, and challenges**. Progress in Organic Coatings, v. 154, p. 106218, maio 2021.
- HASHEMI, S. S. et al. **Multicriteria group decision making with ELECTRE III method based on interval-valued intuitionistic fuzzy information**. Applied Mathematical Modelling, v. 40, n. 2, p. 1554–1564, jan. 2016.

HO, D. **Notepad ++**. Japan: Software C++.

HORA, H. R. M. DA; COSTA, H. G. **Proposta de um método multicritério para escolha múltipla**. Production, v. 25, n. 2, p. 441–453, 13 fev. 2015.

ISO 9223. **ISO 9223:2012: Corrosion of metals and alloys — Corrosivity of atmospheres — Classification, determination and estimation**, ISO, 2012.

ISO 9226. **ISO 9226:2012 Corrosion of metals and alloys — Corrosivity of atmospheres — Determination of corrosion rate of standard specimens for the evaluation of corrosivity**. ISO, 2012.

ISO 12944. **ISO 12944-2:2017: Paints and varnishes — Corrosion protection of steel structures by protective paint systems — Part 2: Classification of environments**, ISO 2017.

ISO 12944-1:2017. **Paints and varnishes - Corrosion protection of steel structures by protective paint systems - ISO 12944-1:2017** Technical Committee ISO/TC 35 & Technical Committee CEN/TC 139, 2018.

ISO 12944-5. **Paints and varnishes – Corrosion protection of steel structures by protective paint systems – Part 5: Protective paint systems (ISO 12944-5:2019)**, ISO, 2019.

IZADI, M.; SHAHRABI, T.; RAMEZANZADEH, B. **Electrochemical investigations of the corrosion resistance of a hybrid sol–gel film containing green corrosion inhibitor-encapsulated nanocontainers**. Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers, v. 81, p. 356–372, dez. 2017.

JESUS, M. S. DE et al. **Métodos de avaliação de impactos ambientais: uma revisão bibliográfica/ Environmental impact assessment methods: a literature review**. Brazilian Journal of Development, v. 7, n. 4, p. 38039–38070, 13 abr. 2021.

JUNIOR, J. L. L.; JUNIOR, M. H.; HORA, H. R. M. DA. **Modelagem multicritério para escolha de tratamento contra corrosão em operação industrial portuária**. In: XXII ENCONTRO NACIONAL DE MODELAGEM COMPUTACIONAL. Juiz de Fora, MG: 2019.

KAPLAN, B.; MAXWELL, J. A. **Qualitative Research Methods for Evaluating Computer Information Systems**. In: ANDERSON, J. G.; AYDIN, C. E. (Eds.). Evaluating the Organizational Impact of Healthcare Information Systems. Health Informatics. New York: Springer-Verlag, 2005. p. 30–55.

KHAN, A. et al. **Frontiers and Challenges in Electrochemical Corrosion Monitoring; Surface and Downhole Applications**. p. 35, 2020.

KOCH, G. et al. **International Measures of Prevention, Application, and Economics of Corrosion Technologies Study**. Gretchen Jacobson, NACE International, 2016.

LI, H. et al. **Risk Assessment of China’s Overseas Oil Refining Investment Using a Fuzzy-Grey Comprehensive Evaluation Method**. Sustainability, v. 9, n. 5, p. 696, 28 abr. 2017.

LI, H.-F.; WANG, J.-J. **An Improved Ranking Method for ELECTRE III**. 2007 International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing. **Anais...** In: 2007 INTERNATIONAL CONFERENCE ON WIRELESS COMMUNICATIONS, NETWORKING AND MOBILE COMPUTING. Shanghai, China: IEEE, set. 2007. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/4341409/>>. Acesso em: 19 jul. 2021

LINDNER, C. **Especialistas em carroceria**. Corrosão, jul. 2021. Disponível em: <<https://carroceria.blogspot.com/2008/>>. Acesso em: 6 jul. 2021

LOTO, C. A. **Electroless Nickel Plating** – A Review. Silicon, v. 8, n. 2, p. 177–186, abr. 2016.

LYON, S. B.; BINGHAM, R.; MILLS, D. J. **Advances in corrosion protection by organic coatings: What we know and what we would like to know**. Progress in Organic Coatings, v. 102, p. 2–7, jan. 2017.

MANDAVI, R. et al. Journal of Environmental Studies. **Modeling Areas Exposed to Oil Pollution in the Coastal City of Bandar Abbas Using ELECTRE-I and AHP models**, v. 42, n. 4, p. 805–822, fev. 2017.

MARDARE, L. et al. **Polymeric Coatings Used against Marine Corrosion of Naval Steel EN32**. Key Engineering Materials, v. 699, p. 71–79, jul. 2016.

MARTIN, C.; LEGRET, M. **Définitions, principe et exemple d’application à la gestion des eaux pluviales en milieu urbain**. p. 18, 2005.

MENDONÇA, F. M. D.; INFANTE, C. E. D.; VALLE, R. A. B. **Aplicação do método ELECTRE III na avaliação de desempenho de redes de empresas produtoras de artesanato: o caso da região de Minas Gerais**. Revista Symposium, v. 8, n. 16, p. 65–81, 2010.

MERIMI, T. R.; A. AOUNITI, A. C.; HAMMOUTI, B. **Pyrazole derivatives efficient organic inhibitors for corrosion in aggressive media: A comprehensive review**. International Journal of Corrosion and Scale Inhibition, 17 dez. 2020.

MONAHAN, E. C.; NIOCAILL, G. M. **Oceanic whitecaps: and their role in air-sea exchange processes**. Springer, 2013.

MORAIS, W. R. D. S. et al. **Estudo prospectivo do uso da própolis como inibidor de corrosão**. Cadernos de Prospecção, v. 10, n. 3, p. 615, 30 set. 2017.

MOREIRA, C. V. C. et al. **Reprodução do experimento da gota salina com caracterização de materiais: uma visão interdisciplinar**. In: 22º CBECIMAT. Natal RN: 2016.

MOURA, E. C. M. D. **Avaliação de Potencial Anticorrosivo de tiossemicarbazonas solubilizadas em sistemas microemulsionados**. Mestrado—Natal RN: Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2009.

NATESAN, M. et al. **Corrosion behavior of metals and alloys in marine-industrial environment**. Science and Technology of Advanced Materials, v. 9, n. 4, p. 045002, dez. 2008.

NURAINI, L. et al. **Atmospheric corrosion performance of different steels in early exposure in the coastal area region West Java, Indonesia**. In: Proceedings of the international seminar on metallurgy and materials (ismm2017): metallurgy and advanced material technology for sustainable development. Jakarta, Indonesia: 2018. Disponível em: <<http://aip.scitation.org/doi/abs/10.1063/1.5038322>>. Acesso em: 15 jul. 2019

OLIVEIRA, A. R. **Corrosão e Tratamento de Superfície**, 2012.

OSTROSKI, V. C. **Avaliação da velocidade de corrosão nos equipamentos portuários**. Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental, v. 8, n. 1, p. 848, 4 abr. 2019.

PANNONI, F. D. **Princípios da proteção de estruturas metálicas em situação de corrosão e incêndio**, 2007.

PANNONI, F. D. **Princípios da proteção de estruturas metálicas em situação de corrosão e incêndio**. Gerdau, 2015.

PANNONI, F. D. **Projeto e Durabilidade**. Rio de Janeiro, Brasil: INSTITUTO AÇO BRASIL / CENTRO BRASILEIRO DA CONSTRUÇÃO EM AÇO, 2017. v. 2

PEIXOTO, R. L. **Conservação e monitorização de estruturas portuárias**. Portugal: Faculdade de Engenharia da universidade do Porto, 2014.

PETROBRAS. **N-1550 Pintura de Estrutura Metálica**. Brasil: CONTEC - Comissão de Normalização Técnica, 2016.

PETROBRAS. **N-1735 Pintura de Máquinas, Equipamentos Elétricos e Instrumentos**. Brasil: CONTEC - Comissão de Normalização Técnica, 2016b.

PETROBRAS. **N-13 Requisitos Técnicos para Serviços de Pintura**. Brasil: CONTEC - Comissão de Normalização Técnica, 2019.

PORTO DO AÇU. 2021. Disponível em: <<https://portodoacu.com.br/sobre-o-porto/porto-do-acu/>>. Acesso em: 7 abr. 2021

PRASAD, A. R.; KUNYANKANDY, A.; JOSEPH, A. **Corrosion Inhibition in Oil and Gas Industry: Economic Considerations**. In: SAJI, V. S.; UMOREN, S. A. Corrosion Inhibitors in the Oil and Gas Industry. 1. ed. Alemanha: Wiley, 2020. v. 1p. 135–150.

PROCÓPIO, L. **The role of biofilms in the corrosion of steel in marine environments**. World Journal of Microbiology and Biotechnology, v. 35, n. 5, p. 73, maio 2019.

QUINÁGLIA, G. A. **Caracterização dos níveis basais de concentração de metais nos sedimentos do sistema estuarino da baixada santista**. Doutorado em Química Analítica - São Paulo: Universidade de São Paulo, 27 nov. 2006.

REVIE, R. W.; UHLIG, H. H. **Corrosion and Corrosion Control: An Introduction to Corrosion Science and Engineering**. n. Fourth Edition, p. 513, 2008.

REVISTA GC. GRANDES CONSTRUÇÕES. **Brasil perde 4% do PIB com corrosão**, v. 1, n. 79, p. 1, 2017.

ROBERGE, P. R. **Corrosion engineering: principles and practice**. New York: McGraw-Hill, 2008b. v. 1

ROY, B. **Revue française d'informatique et de recherche opérationnelle**. Classement et choix en présence de points de vue multiples, n. 8, p. 57–75, 1968.

ROY, B. **ELECTRE III: un algorithme de methode de classements fonde sur une representation floue des préférences en presence de critères multiples**. v. 20, n. 1, p. 3–24, 1978.

ROY, B. **Multicriteria Methodology for Decision Aiding**. Boston, MA: Springer US, 1996. v. 12

ROY, B.; BERTIER, P. M. **La méthode ELECTRE II: une méthode de classement en présence de critères multiples**. La méthode ELECTRE II: une méthode de classement en présence de critères multiples, n. 142, p. 25, 1971.

ROY, B.; FIGUEIRA, J. **Multiple Criteria Decision Analysis: ELECTRE METHODS**. France: Luso-French, 2002. v. 1

ROY, B.; HUGONNARD, J. C. **Classement des prolongements de lignes de metro en banlieue parisienne: presentation d'une methode multicritere originale**. v. 24, p. 153–171, 1982.

ROY, B.; SKALKA, J. M. **Aspéct methodologiques et guide d'utilisation**. In: DOCUMENT DU LAMSADE. Paris-Dauphine: Universite Pauris-Dauphine: 1985.

SAATY, T. L. **Decision making, new information, ranking and structure**. Mathematical Modelling, v. 8, p. 125–132, 1987.

SAATY, T. L. **Decision making for leaders**. 2000.

SAATY, T. L. **The Modern Science of Multicriteria Decision Making and Its Practical Applications: The AHP/ANP Approach**. Operations Research, v. 61, n. 5, p. 1101–1118, out. 2013.

SANJUAN, M. E. C. **Maresia: Uma Proposta para o Ensino de Eletroquímica**. QUÍMICA NOVA NA ESCOLA, v. 31, p. 8, 2009.

SHREIR, L. L. (ED.). **Corrosion. 2: Corrosion control**. 2. ed., repr ed. London: Newnes-Butterworth, 1979.

SICA, Y. C. et al. **Atmospheric corrosion performance of carbon steel, galvanized steel, aluminum and copper in the North Brazilian coast**. Journal of the Brazilian Chemical Society, v. 18, n. 1, p. 153–166, 2007.

SILVA, L. G. D. **Impactos da corrosão atmosférica nas empresas do porto do aço.** Campos dos Goytacazes, RJ: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense, 2019.

SILVA, L. G. D.; HORA, H. R. M. DA; JUNIOR, M. E. Revista Cadernos do Desenvolvimento Fluminense. **Efeitos da corrosão atmosférica nas empresas do Porto do Aço cinco anos após o início das operações,** 2018.

SURNAM, B. Y. R. et al. **Investigating atmospheric corrosion behavior of carbon steel in coastal regions of Mauritius using Raman Spectroscopy.** *Materia* (Rio de Janeiro), v. 21, n. 1, p. 157–168, mar. 2016.

TZENG, G.; HUANG, J.-J. **Multiple attribute decision making: methods and applications.** Boca Raton, Fla. London: Chapman & Hall/CRC, 2011.

VAISMAN, A. **An Introduction to Business Process Modeling.** p. 33, 2013.

VINCKE, P. **Multicriteria decision-aid.** Chichester [England]; New York: Wiley, 1992.

WALTER, O. M. F. C.; PALADINI, E. P. **Lean Six Sigma in Brazil: a literature review.** *International Journal of Lean Six Sigma*, v. 10, n. 1, p. 435–472, 4 mar. 2019.

YOON, K.; HWANG, C. L. **Multiple attribute decision making: an introduction.** Thousand Oaks, CA: Sage Publications, 1995.

YU, W. **ELECTRE TRI: aspects méthodologiques et guide d'utilisation.** In: DOCUMENT DU LAMSADE. Paris Dauphine: Université Paris-Dauphine: 1992.

ZOPOUNIDIS, C.; DIMITRAS, A. I. **Multicriteria Decision Aid Methods for the Prediction of Business Failure.** Boston, MA: Springer US, 1998.