



**XXIV SNPTEE
SEMINÁRIO NACIONAL DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA**

CB/GMI/23

22 a 25 de outubro de 2017
Curitiba - PR

GRUPO - XII

GRUPO DE ESTUDO DE ASPECTOS TÉCNICOS E GERENCIAIS DE MANUTENÇÃO - GMI

**AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO, PRODUTIVIDADE E CUSTOS DE TECNOLOGIAS DE PROTEÇÃO
ANTICORROSIVA PARA ESTRUTURAS ENTERRADAS DE LINHAS DE TRANSMISSÃO**

**Cristina da Costa Amorim (*), Alberto Pires Ordine, Marcos Martins de Sá, Wendell Porto de Oliveira
ELETROBRAS CEPTEL ELETROBRAS FURNAS**

RESUMO

O aço galvanizado é bastante utilizado no setor elétrico por suas boas propriedades de proteção anticorrosiva. Esse material é, por exemplo, empregado em perfis de fundações de torres de linhas de transmissão que ficam em contato direto com o solo. O solo onde as fundações de torres de linhas de transmissão são construídas pode apresentar variadas condições de agressividade, acarretando processos corrosivos que demandam serviços de manutenção contínuos. Assim, o Cepel em conjunto com Furnas avaliou diferentes sistemas de proteção anticorrosiva para recuperação de estruturas enterradas, contemplando uma investigação de desempenho anticorrosivo, de produtividade e custos envolvidos nas tecnologias estudadas.

PALAVRAS-CHAVE

Corrosão, Fundação, Pintura, Custo, Produtividade

1.0 - INTRODUÇÃO

As torres de linhas de transmissão, cujas fundações são constituídas de grelhas metálicas em aço galvanizado, podem apresentar intensos processos de corrosão na sua parte enterrada. Por este motivo, as equipes de manutenção das empresas Eletrobras realizam inspeções frequentes nestas torres, para programar e realizar serviços de recuperação nas fundações das mesmas. Essa atividade é de fundamental importância na preservação da integridade estrutural das torres.

Fatores como o teor de umidade, o pH, a presença de substâncias poluentes e de microorganismos são capazes de gerar diferentes condições de agressividade do solo. Além destas, condições específicas podem acelerar os processos corrosivos de estruturas metálicas em solo, como por exemplo, a presença de lençóis freáticos, condições de encharcamento periódico, regiões onde se usam fertilizantes e defensivos agrícolas e existência de diferentes condições de aeração do terreno em torno da estrutura (1). Sobre esta última, um processo comum que se observa em fundações de torres de linhas de transmissão é a corrosão intensa na zona de afloramento.

Neste caso, um pouco abaixo da superfície do solo observa-se um processo de corrosão desencadeado pela menor disponibilidade de oxigênio em relação às zonas superficiais (1), formando o mecanismo de corrosão conhecido como pilha de aeração diferencial (2). As regiões menos aeradas tornam-se anódicas, favorecendo a corrosão e as regiões mais aeradas da estrutura tornam-se catódicas, onde ocorre a redução do oxigênio presente no solo úmido que envolve a estrutura metálica. Quando as condições tornam-se secas, este mecanismo tem velocidade reduzida.

Para evitar o mecanismo de corrosão por aeração diferencial nas zonas de afloramento de pés de torres de linhas de transmissão, é uma prática comum das equipes de manutenção das empresas Eletrobras recuperar os pés e realizar proteção anticorrosiva pelo uso de esquemas de pintura numa extensão que compreende

(*). Av. Horácio Macedo, n° 354 – Cidade Universitária – CEP 21.941-911 Rio de Janeiro, RJ – Brasil
Tel: (+55 21) 2598-6301 – Fax: (+55 21) 2280-3537 – Email: cristinac@cepel.br

aproximadamente 0,5 m acima do nível do solo e 1,0 m abaixo deste nível. Dessa forma, isola-se toda a região com possibilidades de apresentar pilhas de aeração diferencial, impedindo o contato da área com o meio corrosivo, evitando a corrosão da estrutura metálica. A tecnologia tradicionalmente utilizada neste serviço de recuperação compreende a limpeza de superfície por meio de ferramentas mecânicas ou de jateamento abrasivo seco ou úmido, seguido da aplicação de um sistema de pintura. O sistema pode ser constituído por uma tinta de fundo epóxi pigmentada com alumínio e por duas demãos de tinta com alcatrão de hulha.

Como o alcatrão de hulha é nocivo ao meio ambiente e à saúde dos trabalhadores, houve o desenvolvimento de uma tinta alternativa no mercado de tintas industriais, conhecida como tinta epóxi *tarfree* ou isenta de alcatrão de hulha. Tais esquemas de pintura são normatizados pela Eletrobras para os serviços de pintura anticorrosiva (3).

Devido à importância do assunto para o setor elétrico, o Cepel em conjunto com Furnas realizou um estudo experimental para avaliar o desempenho anticorrosivo de alternativas tecnológicas ao esquema de pintura tradicionalmente utilizado na proteção de estruturas enterradas. Além da avaliação de desempenho, realizou-se uma avaliação de produtividade e custos dos esquemas de pintura aplicados, cujos resultados são apresentados neste artigo. Observou-se que o esquema com a tinta epóxi isenta de alcatrão de hulha foi uma boa alternativa ao esquema tradicional. Ressalta-se também que a análise de custos associada ao desempenho anticorrosivo foi uma informação útil na seleção de métodos de proteção anticorrosiva para estruturas enterradas.

2.0 - METODOLOGIA

Este estudo foi conduzido em solos, dispostos em caixas d'água de 250 L, previamente peneirados, para a remoção de detritos, em duas condições de agressividade diferentes, por um período total de 6,5 anos. Os solos foram caracterizados e mantidos em constante condição úmida durante todo o ensaio, sendo que uma das condições apresentava o solo natural e a outra, o solo mais agressivo. O solo agressivo foi obtido através da adição de cloreto de sódio em concentração de 3,5%, para acelerar os eventuais processos corrosivos. Corpos de prova foram preparados e enterrados, para avaliar o desempenho anticorrosivo das diferentes tecnologias investigadas.

Como substratos foram utilizados perfis metálicos de torrescom 7 mm de espessura, fornecidos por Furnas, e que estavam enterrados há vários anos, em avançado estágio de corrosão. Tais perfis foram cortados em chapas de 100 mm x 300 mm e recuperados por dois processos de limpeza diferentes, o tratamento com ferramentas mecânicas e o jateamento abrasivo úmido. No primeiro caso, obteve-se um padrão de limpeza de superfície St 3, já no segundo, um padrão equivalente a Sa 3, ambos em conformidade com a norma ISO 8501-1 (4). O jateamento abrasivo gerou um perfil de rugosidade médio de 50 μm e a superfície apresentou um grau leve de oxidação instantânea anteriormente à pintura. Além do esquema de pintura tradicional (tinta epóxi pigmentada com alumínio e tinta epóxi alcatrão de hulha), aplicou-se um esquema substituindo a tinta epóxi alcatrão de hulha por aquela isenta de alcatrão de hulha.

Além desses esquemas, foram investigados esquemas de pintura contendo uma tinta de fundo rica em zinco, com o objetivo de avaliar o quanto este tipo de esquema pode ser comparável a uma galvanização convencional, em termos de proteção anticorrosiva.

A Tabela 1 apresenta os esquemas de pintura estudados e como foram referenciados no estudo.

Tabela 1 – Esquemas de pintura, sua denominação e características técnicas

Esquema	Tratamento de superfície	Tinta de fundo	Tinta intermediária / de acabamento
E1	Jateamento abrasivo	Epóxi pigmentada com alumínio, conforme NE-022 (5), 130 μm	Epóxi com alcatrão de hulha, conforme NE-012 (6), 280 μm
E1st	Ferramentas mecânicas		
E2	Jateamento abrasivo	Monocomponente e de cura por evaporação de solventes, com teor de zinco metálico na película seca de 93%, 60 μm	Poliuretano de cura com umidade do ar, contendo óxido de ferro micáceo, 120 μm
E2st	Ferramentas mecânicas		
E3	Jateamento abrasivo		
E3st	Ferramentas mecânicas	Idem à tinta de fundo, 60 μm	
E4	Jateamento abrasivo	Epóxi pigmentada com alumínio, conforme NE-022 (5), 130 μm	Epóxi com alto teor de sólidos, isenta de alcatrão de hulha, 280 μm

Foram realizados ensaios de aderência por resistência à tração, conforme a norma ASTM D4541 (7), antes e após o ensaio de desempenho anticorrosivo nos solos. Além disso, como critérios de desempenho, avaliaram-se os corpos de prova após o ensaio, quanto aos graus de empolamento e corrosão (8). Para se obter um parâmetro capaz de mensurar a proteção anticorrosiva em cada ensaio realizado, elaborou-se uma metodologia de classificação de desempenho dos diferentes esquemas de pintura, com base em um sistema de pontuação. Em cada ensaio atribuiu-se pontos aos esquemas de pintura, conforme seu desempenho.

Na Tabela 2, são descritos o sistema de pontos e sua interpretação. Como cada ensaio tem parâmetros diferentes para avaliação dos esquemas, a utilização deste sistema de pontuação foi uma forma de padronizar a classificação de desempenho entre os diferentes esquemas de pintura.

Tabela 2 – Pontuação de desempenho de esquemas de pintura em ensaios

Pontos	Interpretação
0	O esquema de pintura não atendeu o desempenho esperado
1	O esquema de pintura atendeu parcialmente o desempenho esperado
2	O esquema de pintura atendeu integralmente o desempenho esperado

A produtividade de aplicação dos esquemas de pintura foi avaliada com base no levantamento dos tempos gastos nas operações técnicas realizadas para concluir a proteção anticorrosiva em cada caso. Tais operações compreendem as seguintes etapas: tratamento de superfície; homogeneização prévia dos componentes das tintas, pesagem e mistura dos mesmos; aplicação das tintas; limpeza dos materiais utilizados. Com exceção da primeira etapa, as demais se repetem a cada demão de tinta, consequentemente, os esquemas com menor número de demãos são aqueles com maior produtividade e vice-versa.

Os corpos de prova possuíam área total de 0,06 m², uma vez que os dois lados foram pintados. Observou-se que a etapa de limpeza de material consumiu o mesmo tempo, em torno de 30 minutos, independentemente do esquema aplicado. Assim, esta etapa foi uma parcela de igual contribuição para todas as demãos de tinta e incluída na etapa de aplicação das tintas. Além disso, para fins de simplificação, as etapas de homogeneização e pesagem e mistura dos componentes das tintas constituintes do esquema de pintura foram agrupadas em uma única etapa denominada “preparação das tintas”.

Dessa forma, o gasto de tempo total (GT) de cada esquema de pintura foi calculado pela equação [1].

$$GT = GTS + GPE + GAE [1]$$

Onde: GT é o gasto total de tempo para aplicar o esquema de pintura, em h/m²;
 GTS é o gasto de tempo na etapa de tratamento de superfície, em h/m²;
 GPE é o gasto de tempo na etapa de preparação das tintas, em h/m²;
 GAE é o gasto de tempo na etapa de aplicação do esquema de pintura, em h/m².

Os custos das tintas foram levantados junto aos respectivos fabricantes e, para fins de padronização, foram considerados sem a incidência de impostos. Neste trabalho, os resultados apresentados estão baseados nos custos relativos ao esquema tradicionalmente utilizado.

A partir da avaliação de desempenho anticorrosivo, de produtividade e custo dos esquemas de pintura, com as metodologias apresentadas foi possível selecionar mais adequadamente os esquemas de pintura para manutenção de estruturas enterradas de torres de linhas de transmissão.

3.0 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Avaliação de Desempenho

O solo empregado no estudo apresentava características argilosas, nas duas condições de agressividade investigadas. A Tabela 3 apresenta os resultados da análise química dos extratos aquosos dos solos em que os corpos de prova foram enterrados, evidenciando-se que a condição agressiva apresentava um elevado teor de sais de cloreto.

Tabela 3 – Análise química de extratos aquosos dos solos utilizados durante os ensaios de corrosão.

Tipo de solo	pH	Condutividade (μS/cm)	Teor de cloreto (mg/kg)	Teor de sulfato (mg/kg)
Natural úmido	7,3	112	1	2
Agressivo úmido	6,9	9902	3305	11

O valor mais acentuado da condutividade no solo agressivo úmido está relacionado ao alto teor de cloreto presente. Além de acelerar a corrosão metálica, este torna o meio mais condutor, facilitando os processos eletroquímicos da corrosão (9). Entre os esquemas de pintura estudados, após 6,5 anos enterrados nos dois tipos de solo, verificou-se que E1, E2 e E4, independentemente do tratamento de superfície e da condição de solo, apresentaram-se visualmente íntegros ao final dos ensaios, sem descascamento e corrosão. No caso do esquema

E3, observou-se um desgaste considerável da película de tinta e áreas com corrosão do substrato devido à perda de aderência do revestimento. Esse processo de degradação foi mais intenso no caso do solo agressivo e com tratamento de superfície por ferramentas mecânicas.

A Tabela 4 apresenta o desempenho dos corpos de prova nos ensaios em solo, em termos de área de corrosão, classificada conforme os padrões da Norma SSPC-VIS 2 (10), em que o tipo de corrosão foi generalizada (G). Pela Norma, a classificação utiliza números inteiros em sequência, desde 1 a 9, sendo 1 aquelas superfícies com área mais corroída (50% ou mais) e 9, aquelas com área menos corroída (0,03%). Somente são apresentados os esquemas que tiveram corrosão.

Com os resultados obtidos, ficou evidente que a tinta utilizada para compor o esquema E3 não atendeu à condição enterrada para substratos que já perderam a camada de galvanização e foram recuperados em serviços de manutenção. É um equívoco afirmar que a tinta rica em zinco, como um único constituinte de um esquema de pintura, é capaz de recuperar a galvanização da peça. Estudos já realizados mostram que estruturas em aço galvanizado por imersão a quente, com peso de camada de 900 g de Zn/m² (espessura de 125 µm), enterradas em solos agressivos proporcionam uma proteção adequada de 15 anos ou mais (1). Com menos da metade deste tempo, na condição de solo agressivo, os corpos de prova com o esquema E3 apresentaram uma extensão considerável de área corroída e a tinta mostrou-se bem degradada.

Tabela 4 – Resultados do grau de corrosão dos corpos de prova ensaiados em solo, após 6,5 anos.

Tipo de solo	Esquema	Classificação de corrosão (10)	
		Grau de corrosão	Área corroída (%)
Natural úmido	E3	7-G	0,3
	E3st	7-G	0,3
Agressivo úmido	E3	2-G	33,0
	E3st	1-G	50,0

A Tabela 5 apresenta os resultados de aderência antes e após os ensaios nas duas condições de solo.

Tabela 5 – Resultados de aderência por resistência à tração antes e após os ensaios em solos.

Esquema de pintura	Aderência inicial		Solo Natural Úmido		Solo Agressivo Úmido	
	Tensão de Ruptura (MPa)	Natureza da Falha	Tensão de Ruptura (MPa)	Natureza da Falha	Tensão de Ruptura (MPa)	Natureza da Falha
E1	19,3	C/Y	15,3	40% B; 60% C/Y	17,6	25% B; 75% C/Y
E1st	13,7	40% B; 60% C/Y	14,7	60% B; 40% C/Y	19,1	75% B; 25% C/Y
E2	11,1	C	8,4	80% C; 20% B	8,1	C
E2st	8,0	C	7,7	80% C; 20% B	4,5	C
E3	10,8	A/B	14,6	B	Não foi possível medir	
E3st	13,5	A/B	11,0	A/B	Não foi possível medir	
E4	9,2	C	14,6	50% C/Y; 50% B (presença de pontos de corrosão na superfície)	17,4	60% C/Y; 40% B (presença de pontos de corrosão na superfície)

Os resultados mostram que os esquemas de pintura E1, E2 e E4 tiveram boa aderência ao substrato, tanto sobre superfície tratada com jateamento abrasivo, quanto por meio de ferramentas mecânicas. Quanto ao esquema E3, os valores e, principalmente, a natureza da falha obtida na região do arrancamento dos carretéis, correspondem ao pior desempenho anticorrosivo observado. De fato, o que é menos desejado numa avaliação de ensaio de aderência por tração é a falha entre o substrato e o revestimento (adesiva A/B).

Com base em todos os resultados apresentados da avaliação de desempenho dos diferentes esquemas de pintura investigados, elaborou-se a Tabela 6, contendo a pontuação para classificar o desempenho.

Tabela 6 – Pontuação de desempenho para os esquemas de pintura por ensaio.

Ensaio	Esquema de pintura							
	E1	E1st	E2	E2st	E3	E3st	E4	
Aderência inicial	2	2	2	2	0	0	2	
Natural úmido	Grau de corrosão	2	2	2	2	1	1	2
	Aderência final	2	2	2	2	2	0	2
Agressivo úmido	Grau de corrosão	2	2	2	2	0	0	2
	Aderência final	2	2	2	2	0	0	2
Total de pontos	10	10	10	10	3	1	10	
Avaliação relativa de desempenho (%)	100	100	100	100	30	10	100	

3.2 Avaliação de Produtividade

Com base nas observações experimentais, as parcelas e o resultado da equação [1] foram estimados para cada esquema de pintura e os resultados são apresentados na Tabela 7.

Tabela 7 – Produtividade dos esquemas de pintura.

Tempo gasto (h/m ²)	Esquema de pintura						
	E1	E1st	E2	E2st	E3	E3st	E4
Tratamento de superfície (GTS)	0,55	2,78	0,55	2,78	0,55	2,78	0,55
Preparação das tintas (GPE)	1,70	1,70	0,55	0,55	0,37	0,37	1,70
Aplicação das tintas (GAE)	3,40	3,40	3,64	3,64	2,22	2,22	3,40
Tempo total gasto para o esquema (GT)	5,65	7,88	4,74	6,97	3,14	5,37	5,65
Avaliação relativa de produtividade (%)	55,6	39,8	66,2	45,1	100,0	58,5	55,6

O tratamento de superfície por ferramentas mecânicas é cerca de 5 vezes mais demorado do que aquele por jateamento abrasivo. Na etapa de preparação de tintas, o tempo gasto depende da quantidade de demãos do esquema de pintura e se a tinta é bicomponente ou monocomponente. Como as tintas dos esquemas E2 e E3 são monocomponentes, toma-se menos tempo para prepará-las. No caso do esquema E3, em especial, aplicou-se 2 demãos, reduzindo ainda mais esta etapa. Todos os demais esquemas foram aplicados em 3 demãos (uma de tinta de fundo e duas de acabamento).

Já na etapa de aplicação das tintas, o tempo depende sobretudo da quantidade de demãos, porém no caso dos esquemas E2 e E3, foi necessário realizar o procedimento chamado de *mist coat*, que torna a aplicação do esquema mais lenta. O *mist coat* é feito em tintas muito porosas, geralmente as pigmentadas com zinco, e consiste em pulverizar uma demão bem fina da tinta da demão subsequente, com o objetivo de selar a superfície da tinta de fundo. Após curto tempo de secagem, aplica-se a demão seguinte na espessura especificada. Este procedimento é um recurso para evitar formação de pequenas bolhas na segunda demão, durante a sua secagem, tipicamente observado quando se emprega uma tinta impermeável sobre uma tinta porosa (como é o caso das tintas pigmentadas com zinco). O *mist coat* aumentou o tempo de aplicação de uma demão do esquema de pintura em 50%.

A Tabela 7 também apresenta o resultado de produtividade relativa, tomando-se por base que o máximo de produtividade possível foi com o esquema E3 (100%), que registrou o menor gasto de tempo. Em relação a este esquema, calculou-se a produtividade dos demais, percentualmente.

3.3 Avaliação de Custo

A avaliação de custo dos esquemas de pintura contemplou o custo dos tratamentos de superfície somados aos custos das diferentes tintas utilizadas. Para o custo dos tratamentos de superfície, consultou-se uma empresa que presta serviços de pintura anticorrosiva para o setor elétrico, solicitando-se a diferença de custo entre a preparação de superfície até o grau de limpeza Sa 3, em comparação àquela com grau St 3. A empresa informou que a obtenção do grau de limpeza no último caso tem um custo superior ao primeiro, visto que tem maior dificuldade. Para o Sa 3, o custo varia de 35 a 40 R\$/m², e para o St 3, de 45 a 50 R\$/m². Para contabilização neste trabalho, utilizaram-se as médias, dentro destes intervalos, ou seja, R\$ 37,50/m² para obtenção do grau de limpeza Sa 3 e R\$ 47,50/m² para obtenção do grau de limpeza St 3.

Os custos das tintas (R\$/m²) foram calculados com base em dados fornecidos pelos respectivos fabricantes (R\$/L)

e no rendimento das tintas (m^2/L), a partir de seus boletins técnicos. Os preços das tintas foram aqueles isentos de impostos e informados no período de setembro a dezembro de 2016. Com os custos das tintas, foi possível obter os custos dos esquemas de pintura, que somados àqueles devido aos métodos de preparação de superfície, resultou na avaliação de custo deste estudo. Os valores foram convertidos em percentuais relativos ao esquema de custo máximo (100%), que se refere ao esquema E3st. A Tabela 8 apresenta os resultados.

Tabela 8 – Custos dos esquemas de pintura.

Custo do esquema de pintura (R\$/m ²)	Esquema de pintura						
	E1	E1st	E2	E2st	E3	E3st	E4
Preparação de superfície	37,50	47,50	37,50	47,50	37,50	47,50	37,50
Custo do sistema de pintura	15,64	15,64	58,53	58,53	59,79	59,79	16,48
Custo total	53,14	63,14	96,03	106,03	97,29	107,29	53,98
Avaliação relativa de custo (%)	49,5	58,9	89,5	98,8	90,7	100,0	50,3

Observou-se que o sistema E3 apresentou maior custo total, devido ao maior custo da tinta de fundo, que tem também um baixo rendimento, levando a um aumento relativo do custo por área. Mesmo este esquema sendo de duas demãos, em comparação ao E2, com três demãos. Os esquemas E2 e E3 são os mais onerosos, com tinta de fundo rica em zinco, em comparação aos esquemas do tipo barreira (E1 e E4). É interessante notar também que o uso da tinta com tecnologia isenta de alcatrão de hulha (E4) não é muito mais custosa que ao sistema tradicional com tinta epóxi alcatrão de hulha.

3.4 Avaliação de Desempenho, Produtividade e Custo

A Figura 1 apresenta os resultados relativos (%) dos parâmetros avaliados nos itens anteriores, a partir da qual foi possível realizar uma análise entre o desempenho anticorrosivo, a produtividade e o custo, comparando-se os diferentes esquemas de pintura investigados.

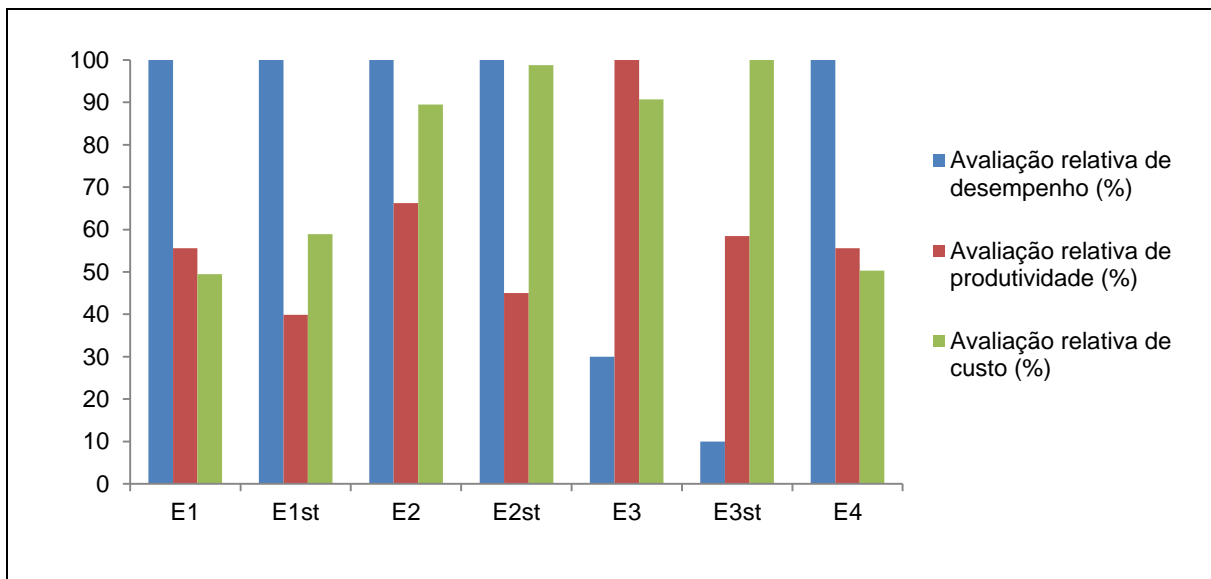


Figura 1 – Avaliação de Desempenho, Produtividade e Custo

Como pode ser observado, tomando-se como referência o esquema E1, aplicado tanto sobre o substrato tratado com jateamento abrasivo quanto por meio de ferramentas mecânicas, foi possível verificar que o esquema E4 mostrou comportamento semelhante, tanto em termos de desempenho anticorrosivo, quanto em produtividade e custo.

A influência do tipo de preparação de superfície também ficou evidenciada ao se comparar os esquemas E1 e E1st e E2 e E2st. O método utilizando ferramentas mecânicas é menos produtivo do que o jateamento abrasivo, uma vez que depende em grande parte do operador da ferramenta. Esta velocidade reduzida de processo, além de aumentar o tempo de serviço, e conseqüentemente, diminuir a produtividade, acarreta um aumento no custo em função do tempo e do valor do gasto com o HH do operador.

Com relação aos esquemas contendo tinta de fundo rica em zinco, observa-se que o E2 apresentou bom desempenho, próximo com o do esquema de referência. Entretanto, seu custo foi muito elevado, tornando-o uma opção inadequada. Aqui, também se observa a diferença de produtividade relacionada aos métodos de preparo de superfície. Já o esquema E3 falhou em dois dos três requisitos de avaliação, mostrando-se inadequado para o caso de revestimento de estruturas enterradas, principalmente nos quesitos desempenho anticorrosivo e custo.

Ao se analisar a diferença de desempenho apresentada pelos esquemas E2 e E3, que possuíam a mesma tinta de fundo, verifica-se que a demão da tinta de acabamento aplicada, por ser mais impermeável, proporcionou uma proteção adicional ao substrato.

4.0 - CONCLUSÃO

Os esquemas de referência (E1 e E1st) e o sistema E4 foram aqueles que apresentaram os melhores desempenhos em todos os ensaios realizados. O sistema E4 teve um bom desempenho, com a vantagem de sua tinta de acabamento ser isenta de alcatrão de hulha, portanto é um ganho ecológico em relação à tinta de acabamento do esquema E1. Como se sabe, o alcatrão de hulha está sendo substituído devido a sua toxicidade e problemas de contaminação para o meio ambiente. Assim, o sistema E4 é uma boa alternativa ao sistema E1 na manutenção de estruturas enterradas, para uma variada condição de agressividade do solo, uma vez que se mostrou equivalente em termos, não somente de desempenho anticorrosivo, como também de custo e produtividade.

O esquema E2 mostrou bom desempenho anticorrosivo, razoável produtividade, porém seu custo foi elevado.

O esquema E3 mostrou-se inadequado às condições de ensaio, em função do baixo desempenho anticorrosivo e elevado custo.

5.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) SERRA, E. T. Corrosão e proteção anticorrosiva dos metais no solo, Centro de Pesquisas de Energia Elétrica – Cepel, 2006.
- (2) JONES, D. A. Principles and prevention of corrosion, Macmillan Publishing Company, 1992.
- (3) NORMAS ELETROBRAS DE PINTURA ANTICORROSIVA, NE-006, Pintura de aço galvanizado, 2016.
- (4) INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, ISO 8501-1, Preparation of steel substrates before application of paints and related products - Visual assessment of surface cleanliness - Part 1: Rust grades and preparation grades of uncoated steel substrates and of steel substrates after overall removal of previous coatings, 2007.
- (5) NORMAS ELETROBRAS DE PINTURA ANTICORROSIVA, NE-022, Tinta de fundo epóxi pigmentada com alumínio, curada com poliamina, 2016.
- (6) NORMAS ELETROBRAS DE PINTURA ANTICORROSIVA, NE-012, Tinta epóxi alcatrão de hulha, curada com poliamida, 2016.
- (7) ASTM INTERNATIONAL, ASTM D4541, Standard test method for pull-off strength of coatings using portable adhesion testers, 2009.
- (8) INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, ISO 4628, Paints and varnishes -- Evaluation of degradation of coatings -- Designation of quantity and size of defects, and of intensity of uniform changes in appearance, 2011.
- (9) GENTIL, V. Corrosão, 2003.
- (10) SSPC THE SOCIETY FOR PROTECTIVE COATINGS, SSPC-VIS 2, Standard method of evaluating degree of rusting on painted steel surfaces, 2000.

6.0 - DADOS BIOGRÁFICOS



Cristina da Costa Amorim, nascida em 1962, no Rio de Janeiro – RJ, graduou-se em química industrial pela Universidade Federal Fluminense em 1985, obtendo o título de Mestre em Ciências, em 1989 pelo Programa de Engenharia Metalúrgica e de Materiais da COPPE/UFRJ, na área de Corrosão. Atuou como Instrutora da Fundação Brasileira de Tecnologia da Soldagem (FBTS), no curso de "*Capacitação de Inspetores de Equipamentos*" de 2004 a 2013, e desde setembro de 2000 é pesquisadora do CEPEL na área de corrosão e proteção anticorrosiva, para desenvolvimento de projetos em conjunto com empresas do setor elétrico, visando a otimização do uso destes na manutenção de equipamentos e estruturas. É membro da Associação Brasileira de Corrosão (ABRACO) com diversos trabalhos apresentados em Congressos e Seminários do setor considerando artigos técnicos em revistas e em anais de congressos e seminários.