

SIO 2015, 13º Simposio Argentino de Investigación Operativa.

Aplicação do método de análise hierárquica na seleção de revestimentos anticorrosivos para equipamentos contidos em paradas de produção de plataformas marítimas

Edwin Benito Mitacc Meza¹, Marcilene de Fátima Dianin Vianna¹, Dalessandro Soares Vianna¹, Rayane da Silva Pinto¹, Máximo Concepción Mitacc Meza²

¹ Instituto de Ciência e Tecnologia – ICT
Universidade Federal Fluminense (UFF) – Rio de Janeiro, RJ – Brasil
emitacc@id.uff.br, {marcilenedianin, dalessandrovianna, rayanedsp}@gmail.com

² Departamento de Ingeniería Industrial
Universidad de Lima (Ulima) – Lima – Perú
mmitacc@correo.ulima.edu.pe

Resumo. Neste artigo é proposto um modelo de auxílio multicritério para orientação da escolha do revestimento anticorrosivo nos equipamentos de processo contidos nas plataformas marítimas nos períodos de paradas de produção. Foi utilizado o método de Análise Hierárquica (AHP), que é amplamente utilizado e serve como base de referência no processo de tomada de decisão com vários critérios. Uma estrutura hierárquica foi também proposta após a identificação dos critérios (tempo, custo e qualidade), dos subcritérios (o tempo de aplicação e o tempo de cura do mesmo) e das alternativas viáveis. Questionários foram aplicados a um grupo de especialistas selecionados a fim de determinar a prioridade dos critérios e subcritérios. As prioridades das alternativas foram feitas baseadas em escalas de comparação propostas neste trabalho. Para aplicação do método foram utilizados dados de vinte equipamentos de processos contidos em paradas de produção de plataformas marítimas localizados na Bacia de Campos, litoral do estado de Rio de Janeiro. Os resultados apresentados foram satisfatórios e evidenciaram a viabilidade da utilização do método AHP para seleção dos revestimentos anticorrosivos para os equipamentos de processos.

1 Introdução

Nos últimos anos, o setor de Petróleo & Gás brasileiro experimenta um novo ciclo de crescimento, levando a importantes mudanças na estrutura industrial brasileira. Houve assim uma grande ampliação dos investimentos na indústria, principalmente no segmento de exploração e produção (E&P), lideradas pela Petrobras, considerada pioneira no desenvolvimento de tecnologias para exploração em águas ultra profundas.

Atualmente, a Petrobras é a maior produtora de petróleo no mundo entre as empresas de capital aberto e também a que mais cresce em quantidade de reservas. Para cada 110

barris extraídos em 2014, a estatal acrescentou outros 105 barris às suas reservas provadas. Possui 134 plataformas de produção, sendo 77 fixas e 57 flutuantes, com uma produção aproximada de 2,6 milhões de barris de óleo equivalente por dia [9].

Neste contexto, ela segue práticas internacionais de operação de complexos industriais, realizando paradas planejadas de manutenção nas suas plataformas, por meio de campanhas regulares. Nessas paradas, todos os esforços são concentrados para se executar a substituição de reparos provisórios instalados, remover corrosão, fazer manutenção nos equipamentos e pintar áreas que estejam com a pintura danificada [8].

A corrosão representa um problema sério na maioria das indústrias onde é responsável por enormes prejuízos decorrentes da necessidade constante de substituir equipamentos destruídos [14]. No caso dos equipamentos de processo, o próprio fluido contido no equipamento, em muitos casos, se constitui no agente que causa os problemas de corrosão mais graves e frequentes.

Com a finalidade de evitar a deterioração dos equipamentos devido à corrosão interna e conseqüentemente a paralisação dos equipamentos, são utilizados revestimentos protetores que formam uma barreira de forma a evitar o contato do material com o fluido corrosivo. Estes revestimentos podem ser permanente ou não-permanente, sendo que na maioria das indústrias, devido a fatores econômicos, o revestimento não-permanente denominado pintura anticorrosiva, é geralmente mais utilizado.

Esta pintura geralmente deve ser renovada por várias vezes durante a vida útil do equipamento e a sua correta aplicação e manutenção se torna um fator primordial para preservar a integridade física dos equipamentos de processos e garantir o seu correto funcionamento durante o período das campanhas.

Antes de uma pintura anticorrosiva ser utilizada nas unidades de exploração e produção da empresa Petrobras, é necessário que ela seja testada e homologada junto ao Centro de Pesquisas da Petrobras (CENPES). Este centro é responsável por realizar os ensaios que avaliam o desempenho anticorrosivo do revestimento, para que este possa ser qualificado a ser utilizado no revestimento interno dos equipamentos de processo.

Durante uma parada de produção existem quatro restrições básicas que devem ser consideradas: tempo, qualidade, recursos e custo [4]. Caberá ao gestor da parada de produção determinar qual restrição deverá ser priorizada dentre as outras, e a escolha do revestimento estará diretamente condicionada a esta decisão.

No mercado existe uma gama de fornecedores de pintura anticorrosiva disponíveis com potencial de atender à necessidade industrial de diminuir as paradas para manutenção [7]. Assim, a determinação de qual revestimento que atende melhor as quatro restrições impostas e priorizadas, se constitui no desafio principal deste trabalho, que focará na utilização de um modelo multicritério de decisão conhecido como Método de Análise Hierárquica (AHP) que avaliará, dentre uma gama de opções de revestimentos homologados pelo CENPES, aquele que atende melhor às necessidades do gestor de parada de produção.

2 Parada Programada de Produção em Ambientes *Offshore*

A realização de uma parada programada no ambiente *offshore* exige um planejamento detalhado das atividades que serão realizadas. Na Petrobras, as paradas programadas de plataformas são planejadas e realizadas por equipes de gerentes e técnicos da empresa bem como de empresas contratadas para este tipo de serviço [8].

Segundo [10], existem dois tipos de paradas: programada e não programada. As paradas programadas ocorrem ao final de cada campanha para manutenção e inspeção geral. As paradas não programadas ocorrem devido a um problema inesperado, não previsto, por fatores internos ou externos à mesma, e que afetem a produção, segurança, confiabilidade operacional ou causem impacto ambiental.

É importante ressaltar que os equipamentos de processos contidos nas unidades de exploração e produção de petróleo funcionam em regime contínuo e trabalham durante dia e noite ao longo de vários meses, através do qual circulam os fluidos do processo. Este período é denominado de “campanha” e, segundo [14], pode durar em média até 36 meses, sendo que a falha ou paralisação de um único equipamento, por qualquer motivo, obriga à paralisação, ou redução da produção, de toda a instalação.

Portanto, para aumentar a eficiência operacional na Bacia de Campos, a área de Engenharia de Produção de E&P (Exploração e Produção) da Petrobras estabeleceu que as paradas para manutenção nas plataformas da Bacia de Campos deverão ocorrer a cada três anos por um período de 15 dias [3].

Assim, o setor de Paradas Programadas (PPROG) da empresa é responsável por elaborar o cronograma das paradas programadas e não programadas das plataformas, de acordo com as necessidades de reparos e serviços necessários, juntamente com a empresa contratada, que será responsável pela execução da parada.

Durante a elaboração dos cronogramas de paradas de produção, o setor de PPROG solicita auxílio aos responsáveis pela atividade de Proteção Catódica e Revestimentos Anticorrosivos nas seguintes questões referentes a assuntos relacionados a utilização de revestimentos anticorrosivos para equipamentos de processos:

- Validação de uso de revestimentos e métodos de aplicação;
- Consulta técnica quanto à compatibilidade de revestimentos, procedimento de aplicação e cura dos revestimentos;
- Dada uma situação específica, quais seriam os revestimentos que atenderiam melhor a esta situação, considerando: temperatura de projeto, abrasão, resistência química, presença de bactéria redutora de sulfato, etc.

As paradas contemplam a execução de substituição de reparos provisórios e de equipamentos degradados pela corrosão; além disto, contempla a manutenção dos equipamentos de processos, removendo a corrosão existente e realizando a repintura das áreas onde a pintura encontra-se danificada.

Assim, a corrosão prejudica a integridade dos equipamentos e instalações e desta maneira tem impacto direto na confiabilidade. Segundo [5], os problemas relacionados à corrosão são frequentes e causam perdas econômicas diretas e indiretas, tais como

custo de substituição de peças ou equipamentos corroídos, custos de manutenção dos processos de proteção (ex. pintura), paralisações acidentais, perda de eficiência, perda de produtos (ex. perda de óleo por vazamento em tubulações), além das questões de segurança das instalações como acidentes de trabalho.

No caso dos equipamentos de processo, a corrosão interna é mais comum, causada pelos fluidos contidos nos equipamentos [14]. Para evitar este tipo de corrosão são utilizados revestimentos protetores anticorrosivos, que são películas aplicadas sobre a superfície metálica, as quais dificultam o contato da superfície com o meio corrosivo, separando a superfície do meio corrosivo e minimizando assim a degradação da superfície pela ação do meio [6].

No ambiente *offshore*, o revestimento anticorrosivo utilizado no revestimento interno dos equipamentos de processos são as tintas epóxi “novolac”, cujas características encontram-se especificadas pela norma N-2912 da Petrobras. As resinas epóxi são obtidas pela reação entre a epícloridrina e o bisfenol, sendo que as tintas fabricadas com estas resinas têm um grande uso no Brasil, principalmente devido a seu alto desempenho e ao seu custo médio. Estas tintas são fornecidas em dois componentes, sendo o pré-polímero epóxi e o agente de cura que é normalmente uma amina ou amida [6].

Na norma N-2912 existem três classificações (tipo I, tipo II e tipo III) para as tintas epóxi “novolac”, sendo que as tintas classificadas como tipo III, são aquelas utilizadas no revestimento interno dos equipamentos de processos, por apresentarem melhor desempenho mecânico, químico e térmico.

Nesta norma existe uma gama de fornecedores cujos revestimentos foram testados e homologados junto ao CENPES, de acordo com a especificação para a classificação tipo III. Apesar de possuírem características similares de acordo com o que está especificado pela norma N-2912 da Petrobras, estes revestimentos diferem entre si quando são analisadas questões como tempo de aplicação, tempo de cura, custo, garantia, etc.

Atualmente, toda análise de escolha de revestimento é comparativa através de experiências em ambientes testados, onde não são conhecidas vantagens e desvantagens de um revestimento em relação ao outro, e em quais situações devem ser utilizadas um revestimento ao invés do outro. Assim, este trabalho tem por objetivo utilizar um método de análise hierárquica para auxiliar a empresa nesta questão.

3 O Método de Análise Hierárquica (AHP)

O método AHP (*Analytic Hierarchy Process*) foi criado por Saaty na década de 70 e baseia-se em três princípios: decomposição, julgamentos comparativos e síntese das prioridades. Os critérios podem ser quantitativos ou qualitativos, pois as comparações são feitas de forma relativa entre as alternativas [2].

Basicamente, neste método um grupo de especialistas é consultado ou se reúne para definir o assunto a ser trabalhado e os critérios que serão utilizados. O objetivo é a busca por uma alternativa ótima que atenda às necessidades que os especialistas consideram importante. Assim, o método AHP busca responder o seguinte problema: dado

um conjunto de alternativas, separar estas em classes equivalentes e fornecer uma ordenação prévia que demonstre as posições relativas frente a determinados critérios [1].

Basicamente, a utilização do AHP se inicia pela decomposição do problema em uma hierarquia de critérios mais facilmente analisáveis e comparáveis de modo independente (Figura 1).

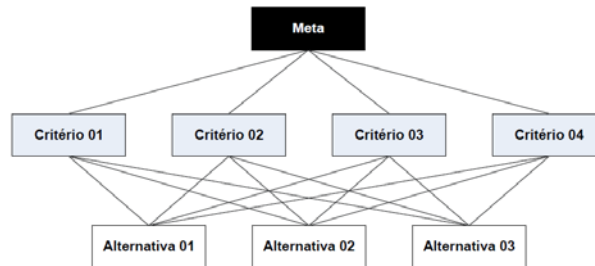


Fig. 1. Exemplo de hierarquia de critérios/objetivos.

A partir do momento em que essa hierarquia lógica está construída, precisa-se determinar a força com a qual os vários elementos num nível influenciam os elementos do nível superior seguinte, de modo que se possam computar as forças relativas dos impactos dos elementos sobre o nível mais baixo e sobre os objetivos gerais [13]. No âmbito do AHP, o avaliador comparará par a par os elementos de um nível da hierarquia à luz de cada um dos elementos em conexão em uma camada superior da hierarquia [2].

Para fazer as comparações par a par, em [11] é proposto uma escala de números que indica quantas vezes mais um elemento é importante ou predominante sobre o outro elemento em relação ao critério ou propriedade ao qual são comparados, ver Tabela 1.

Tabela 1. A Escala fundamental de Saaty.

Valor	Definição	Explicação
1	Igual importância	A duas atividades contribuem igualmente para o objetivo.
3	Importância moderada de uma sobre a outra (um pouco mais importante)	A experiência e o juízo favorecem uma atividade em relação à outra.
5	Importância grande ou essencial (muito mais importante)	A experiência e o juízo favorecem fortemente uma atividade em relação à outra.
7	Importância muito grande	Uma atividade é muito fortemente favorecida em relação à outra. Pode ser demonstrado na prática.
9	Importância extrema ou absoluta	A evidência favorece uma atividade em relação à outra, como o mais alto grau de segurança.
2,4,6,8	Valores intermediários	Quando se procura uma condição de compromisso entre duas definições.

A partir da avaliação par a par dos critérios utilizando a tabela de Saaty, tem-se uma matriz de comparação ou julgamento, conforme Tabela 2.

Tabela 2. Matriz de julgamento entre critérios.

	Critério 1	Critério 2
Critério 1	1	Avaliação Numérica
Critério 2	1/Avaliação Numérica (Recíproco)	1

Os dados desses julgamentos são sintetizados, o que permite o cálculo das prioridades médias locais (PML's). Estes vetores de prioridades locais identificarão as prioridades em cada nó de julgamento [2].

Assim, o objetivo final é identificar um vetor de prioridades global (PG), que armazene a prioridade associada a cada alternativa em relação ao foco principal ou objetivo global, para isto é necessário combinar as PML's no vetor de prioridade global (PG).

Basicamente, a prioridade global de cada alternativa é calculada através da média aritmética dos valores de cada um dos critérios, onde o somatório dos valores do vetor sempre totaliza 1 (um). Já a verificação de inconsistência dos dados é realizada através do cálculo do maior autovalor da matriz (λ_{Max}). Este é encontrado a partir do somatório do produto de cada elemento do vetor de prioridade pelo total da respectiva coluna da matriz comparativa original [2].

Em [13] é sugerido o cálculo da razão de consistência (RC) para afirmar se a matriz pode ser considerada consistente ou não. O RC é calculado com base no índice de consistência (CI) e no índice de consistência aleatório (RI), como segue:

$$RC = \frac{CI}{RI} \quad \text{onde} \quad CI = \frac{\lambda_{Max} - n}{n - 1},$$

sendo n igual ao número de critérios avaliados.

Cabe ressaltar, que o valor de RI é fixo e tem como base o número de critérios avaliados, como mostrado na Tabela 3.

Tabela 3. Índices de consistência aleatória (RI).

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0	0	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

Conforme ressalta-se em [13], para até 10% de inconsistência considera-se a matriz como consistente. Maiores detalhes sobre este método, principalmente na descrição de seus fundamentos matemáticos, podem ser encontrados em [2].

4 Aplicação do Método AHP para a Escolha de Revestimentos

4.1 Definição da Estrutura de Hierarquia de Decisão

O princípio da construção da hierarquia teve três etapas. Na primeira etapa o objetivo foi identificar o foco principal do estudo, ou seja, o objetivo global, o qual se deseja

almejar com a resolução do método. Assim, o objetivo do primeiro nível da estrutura hierárquica foi definido pela questão: “Dada a necessidade de revestimento interno de um determinado equipamento de processo durante uma parada de produção e considerando os recursos disponíveis, qual revestimento da norma N-2912 deve ser selecionado?”.

Já na segunda etapa, o objetivo foi a definição dos critérios, nos quais serão avaliados o desempenho das alternativas viáveis. Considerando que a escolha do revestimento interno para o equipamento de processo está condicionada ao fato de que seja realizado em um ambiente de parada de produção, a definição dos critérios levou em consideração as 4 restrições que devem ser consideradas em uma parada de produção, segundo [4], que são: tempo, custo, qualidade e recursos.

Segundo [12], deve haver independência entre os elementos de cada grupo (níveis ou critérios) para utilização do método AHP, sendo assim a restrição recursos não pode ser considerada na estrutura hierárquica porque a variação desta restrição afeta diretamente as restrições de tempo e custo, o que diretamente afeta a escolha do revestimento.

Assim, justifica-se o uso da restrição recursos somente como entrada de dados e não como um critério, visto que os critérios tempo e custo são dependentes desta restrição. Quando ocorrer às comparações par a par das alternativas frente aos critérios, deve-se adequar os valores de tempo e custo de cada alternativa viável de acordo com os recursos fornecidos.

Portanto, na estrutura hierárquica foram selecionados três critérios e dois subcritérios (Tabelas 4 e 5).

Tabela 4. Identificação dos Critérios.

Critérios	Descrição
Custo	Valor total em R\$ da aplicação do revestimento.
Tempo	Tempo total em horas para aplicar o revestimento interno no equipamento acrescido do tempo de espera até que o equipamento esteja apto a voltar a operar devido a cura do revestimento.
Qualidade	Tempo estimado em anos da duração do revestimento no equipamento.

Tabela 5. Identificação dos Subcritérios (Tempo).

Subcritérios do Critério Tempo	Descrição
Tempo de Aplicação	Tempo total em horas para aplicação do esquema de pintura no equipamento de processo.
Tempo de Cura	Tempo total em horas que a película de tinta aplicada demora a apresentar propriedades que lhe permitem ser submetida a testes de desempenho e serviço.

Na última etapa, o objetivo foi a identificação do conjunto de alternativas, neste caso representado pelos revestimentos epóxi novolac tipo III aprovados pelo CENPES. Segundo levantamento, atualmente existem 14 revestimentos que são fornecidos por 11 fabricantes distintos.

Para identificação dos mesmos dentro do trabalho, optou-se pela identificação dos revestimentos pela letra “T” seguida de uma segunda classificação começando pela letra “A” em ordem alfabética e para os fabricantes optou-se pela identificação pela letra “F” seguida de uma segunda classificação de numeração inteira começando pelo número “1” em ordem crescente como pode ser visto na Tabela 6.

Tabela 6. Lista de revestimentos epóxi novolac tipo III aprovados pelo CENPES.

Revestimento	TA	TB	TC	TD	TE	TF	TG	TH	TI	TJ	TK	TL	TM	TN
Fabricante	F1	F1	F2	F3	F4	F4	F5	F5	F6	F7	F8	F9	F10	F11

Note que os fabricantes F1, F4 e F5 são responsáveis por 2 tipos de revestimentos. Após definição destas três etapas, foi elaborada a estrutura hierárquica (Figura 2), pela qual se pode compreender como os elementos definidos nestas três etapas se relacionam.

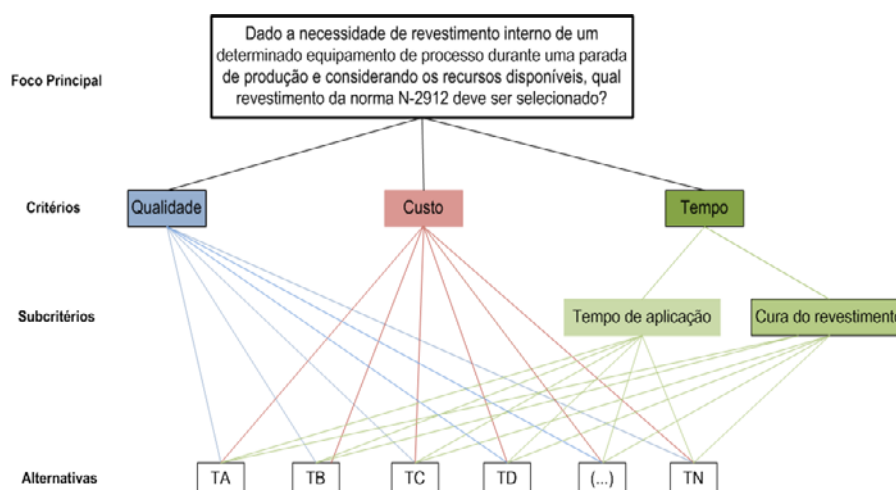


Fig. 2. Estrutura Hierárquica.

4.2 Definição das Matrizes de Julgamentos (Critérios e Subcritérios)

O princípio da definição da comparação paritária entre os elementos de um nível da hierarquia teve duas etapas. A primeira foi a identificação dos decisores da Petrobras que seriam os responsáveis por realizar os julgamentos de valores a partir dos critérios e subcritérios definidos na estrutura hierárquica. Assim, neste trabalho, foram os profissionais da área de revestimento anticorrosivo da gerência IPP/TEPAC e os gestores de parada de produção responsáveis pela elaboração de cronogramas de paradas de produção da gerência PCM/PPIROG.

Já na segunda etapa foi feita um *brainstorming* com os profissionais tendo como objetivo principal determinar como os elementos definidos na estrutura hierárquica influenciam os elementos dos níveis mais alto da hierarquia, baseado na escala fundamental elaborado por Saaty. As Tabelas 7 e 8 mostram, respectivamente, as matrizes de julgamentos dos critérios e subcritérios da estrutura hierárquica.

Tabela 7. Matriz de julgamentos dos critérios.

Critério	Tempo	Custo	Qualidade	PML
Tempo	1	5	1/3	0,28
Custo	1/5	1	1/7	0,08
Qualidade	3	7	1	0,64
RC				0,06

Tabela 8. Matriz de julgamentos dos subcritérios (Tempo)

Subcritério	Tempo de aplicação	Tempo de cura	PML
Tempo de aplicação	1	1/5	0,17
Tempo de cura	5	1	0,83
RC			0,00

É importante ressaltar que a última coluna representa o vetor das prioridades médias locais (PML's) e a última linha representa o cálculo da Razão de Consistência (RC). Portanto, como a razão de consistência é menor que 0,10 (em ambas tabelas) pode-se concluir que os julgamentos dos critérios e subcritérios são consistentes.

4.3 Julgamento de Valores das Alternativas

De acordo com a metodologia proposta em [12], o mesmo grupo de profissionais selecionados para realizar os julgamentos de valores dos critérios e subcritérios também seria responsável pela emissão de julgamentos de valor quanto ao desempenho relativo às alternativas à luz dos critérios e subcritérios estabelecidos. Porém a necessidade de recalcular os valores dos critérios tempo e custo a cada situação apresentada inviabilizaria a aplicação do método, já que seria necessário repetir esta etapa para cada nova situação.

Desta forma, através da escala fundamental desenvolvida em [11], será proposta uma forma de emitir os julgamentos de valores para as alternativas sem a necessidade de envolver o grupo de profissionais selecionado, o que tornará a utilização do método viável neste contexto.

Para a etapa de julgamento das alternativas, na qual se faz a comparação par a par das alternativas frente aos critérios e subcritérios, serão utilizados os seguintes julgamentos:

- Critério Tempo: quanto menor o tempo total em horas de aplicação do revestimento acrescido do tempo de cura do revestimento melhor será o desempenho de uma alternativa em relação à outra.

- Subcritério Tempo de Aplicação: quanto menor o tempo total em horas de aplicação do revestimento melhor será o desempenho de uma alternativa em relação à outra.
- Subcritério Tempo de Cura: quanto menor o tempo decorrido até a cura da película de tinta aplicada melhor será o desempenho de uma alternativa em relação à outra.
- Critério Qualidade: quanto maior for o tempo total em anos da duração do revestimento no equipamento melhor será o desempenho de uma alternativa em relação à outra.
- Critério Custo: quanto menor o custo em R\$ da aplicação do revestimento melhor será o desempenho de uma alternativa em relação à outra.

Assim, para o cálculo do tempo de aplicação foi necessário obter a área interna total em m² a ser revestida, definida pela multiplicação da área interna do equipamento pelo número de demãos necessárias. Assim, o tempo de aplicação pode ser representado pela seguinte expressão (produtividade se refere à produtividade do método de aplicação):

$$\text{Tempo de aplicação} = \frac{\text{Área interna do equipamento} \times \text{n}^\circ \text{ de demãos}}{\text{Produtividade} \times \text{n}^\circ \text{ de pintores}} + \text{Tempo de repintura}$$

Já a variável tempo de cura é obtida no boletim técnico do revestimento e representa o tempo que o revestimento aplicado demora a apresentar propriedades que lhe permitem voltar a operar. Existem revestimentos que aceitam um procedimento denominado pós-cura que consiste em forçar a cura através de aumentos graduais de temperatura. Este procedimento é descrito por cada fabricante, e caso seja possível, será considerado neste trabalho para os revestimentos que aceitem tal método.

Por outro lado, o critério custo, que representa o valor total em R\$ da aplicação do revestimento no equipamento de processo, é definido por quatro variáveis: área do equipamento, esquema de pintura, rendimento teórico do revestimento e o preço do revestimento (R\$/litro ou R\$/quilo).

Por último, o critério qualidade, que representa o tempo em anos da duração do revestimento no equipamento de processo, é definido por uma única variável: tempo de garantia. Uma estimativa do tempo de garantia deverá ser fornecida pelo fabricante.

É importante ressaltar que, o levantamento de dados tais como esquemas de pintura, métodos de aplicação, tempo de repintura, tempo de cura foram feitos através de consulta direta aos fornecedores de todos os revestimentos aprovadas pelo CENPES.

Analisando os dados obtidos na coleta de dados (as variáveis necessárias para o cálculo dos critérios e subcritérios) definiu-se uma escala diferente para cada critério. Para emitir o julgamento de valor ao comparar duas alternativas a luz dos critérios e subcritérios seguiram-se as seguintes premissas: realiza-se a divisão de uma alternativa “X” em relação a uma alternativa “Y”; através do valor obtido na divisão, analisa-se este valor nos intervalos de comparação para o critério ou subcritério e retorna o julgamento de valor correspondente.

Por exemplo, no caso do critério qualidade, os valores definidos para tempo de garantia variam de cinco anos a dez anos, logo a variação é considerada pequena. Assim, ao comparar duas alternativas e definir qual a intensidade de importância de uma em relação à outra, é necessário utilizar uma escala de valores pequenos. Como o valor máximo que uma alternativa pode apresentar é 10 e o valor mínimo 5, tem-se que ao dividir uma alternativa “X” em relação a uma alternativa “Y”, os valores podem variar de 1 a 2, quando “X” > “Y”. Assim, baseando-se na escala proposta por Saaty, definiu-se intervalos de comparação para divisão de uma alternativa em relação à outra como mostra a Tabela 9.

Tabela 9. Escala fundamental critério qualidade

Definição	Escala de Saaty	Intervalos de comparação (X/Y)	Julgamento de Valor
Igual importância	1	1	3
Importância moderada	3	1,3	5
Importância grande	5	1,5	7
Importância muito grande	7	1,6	9
Importância extrema	9	1,9	

Se X/Y = 1 atribui 1 ou Se X/Y > 1,9 atribui 9

É importante ressaltar que as escalas propostas para realizar os julgamentos das alternativas à luz dos critérios e subcritérios, foram validadas através da análise de consistência lógica, apresentando razões de consistência menores que 0,1. Portanto, pode-se concluir que as escalas propostas são adequadas para realizar as comparações automáticas das alternativas, sem que haja a necessidade de utilizar os profissionais selecionados.

4.4 Implementação

A implementação do método proposto foi feita com o auxílio do programa Microsoft Excel. A escolha deste programa deve-se ao fato de que o seu uso facilita a aplicação do método na empresa estudada.

Assim, através das informações obtidas com os fornecedores, montou-se duas planilhas, denominadas: informações dos revestimentos e esquemas de pintura. Na primeira planilha foram detalhadas as informações obtidas com os fornecedores tais como tempo de cura, cotação, etc. Na segunda planilha, detalhou-se o esquema de pintura recomendado pelo fabricante a fim de auxiliar no cálculo do critério tempo.

Em uma terceira planilha, o usuário deverá fornecer os recursos que devem ser considerados nos cálculos dos critérios e subcritérios: a área interna do equipamento a ser revestido e o número de pintores disponíveis para realização do serviço, ver Figura 3.

Além disto, o usuário deverá selecionar se no cálculo do critério tempo deve ser considerado ou não o tempo de pós-cura e informar a produtividade e fator de perda do método de aplicação.

Recursos	
Área do Equipamento (m ²):	<input type="text"/>
Nº de Pintores:	<input type="text"/>

Questões a se considerar	
<input type="checkbox"/>	Pós-cura para os revestimentos que aceitarem tal método
Produtividade do método de aplicação (m²/h)	
Espatulamento	<input type="text"/>
Pistola sem ar	<input type="text"/>
Fator de perda do método de aplicação (%)	
Espatulamento	<input type="text"/>
Pistola sem ar	<input type="text"/>

Fig. 3. Entrada de dados.

Depois de fornecidos os dados, estes serão usados para calcular as PML's e a PG do método AHP a fim de determinar o revestimento adequado para uma determinada situação.

5 Testes e Resultados

Com o objetivo de validar o uso do método, foram utilizados dados de 20 equipamentos de processos obtidos na coleta de dados através dos cronogramas de paradas de produção que aconteceram nas instalações marítimas da Petrobras. Para fins deste artigo, serão apresentadas somente 3 testes do método proposto.

5.1 Descrição dos Testes

Para aplicação do método, na planilha entrada de dados deverá ser fornecido a área interna do equipamento a ser revestido e o número de pintores disponíveis para o serviço. Em relação aos tempos de produtividade dos métodos de aplicação, serão consideradas uma produtividade média de 3 m²/hora para aplicação por espátula e de 100 m²/hora para pistola sem ar. Para os fatores de perda dos métodos de aplicação serão considerados o fator de 10% para aplicação por espátula e 30% para pistola sem ar, fornecidos pelo setor IPP/TEPAC.

Para testar o funcionamento do método AHP, os valores do tempo de garantia serão gerados de forma aleatória, no intervalo de 5 a 10 anos. Além disto, como na planilha existe a possibilidade de considerar o tempo de pós-cura para os revestimentos que aceitam tal método, serão comparados dois cenários: considerando o tempo de cura normal do revestimento e considerando o tempo de pós-cura.

Cabe ressaltar que os vetores de prioridades usados para os critérios e subcritérios foram estabelecidos na análise da Consistência lógica (conforme Tabela 7 e 8).

5.1.1 Vaso de pressão

No primeiro teste foi escolhido o Vaso de Pressão que é um equipamento de porte pequeno cuja área mede 58,3 m². Segundo o cronograma de parada, 1 pintor foi escalado para realizar o revestimento interno. Estes dados foram digitados na planilha entrada de dados para realizar o cálculo dos critérios (tempo e custo) e subcritério tempo de aplicação.

As matrizes de julgamentos das alternativas foram preenchidas automaticamente de acordo com as escalas definidas para cada critério e subcritério. A fim de validar o uso destas escalas, calculou-se a razão de consistência lógica para verificar se os julgamentos estavam dentro da faixa aceitável proposta por Saaty. Os resultados de todas as razões de consistências lógicas deram menores que 0,10; logo conclui-se que os julgamentos são consistentes. Por fim, foram calculadas as Prioridades Globais (PG's) das alternativas. O resultado encontra-se na Tabela 10 para os dois cenários estudados.

Tabela 10. PG das alternativas do equipamento vaso de pressão.

Alternativas	Prioridade Global (PG)		Alternativas	Prioridade Global (PG)	
	Cura Normal	Pós-cura		Cura Normal	Pós-cura
TA	9,96%	13,24%	TH	2,27%	2,15%
TB	9,88%	11,82%	TI	7,52%	7,30%
TC	4,06%	6,61%	TJ	6,80%	6,58%
TD	13,85%	11,49%	TK	3,08%	2,86%
TE	4,56%	4,74%	TL	5,56%	5,03%
TF	14,94%	12,16%	TM	1,95%	1,88%
TG	10,20%	10,12%	TN	5,36%	4,03%

Pela Tabela 10, pode-se concluir que considerando a cura normal do revestimento, a melhor opção para revestir o vaso de pressão seria o revestimento TF com 14,94% de prioridade, seguidos dos revestimentos, TD com 13,85% e TG com 10,20%. Considerando o método de pós-cura, a melhor opção seria o revestimento TA com 13,24% de prioridade, seguido dos revestimentos TF com 12,16% e TB com 11,82%.

5.1.2 Separador de Gás

No segundo teste foi escolhido um equipamento de processo de porte médio, sendo este um separador de gás cuja área mede 145,0 m². Segundo o cronograma de parada, 2 pintores foram escalados para realizar o revestimento interno do equipamento. Estes dados foram digitados na planilha entrada de dados para realizar o cálculo dos critérios (tempo e custo) e subcritério tempo de aplicação.

Todas as razões de consistências lógicas deram menor que 0,10, ficando assim dentro do aceitável proposto por Saaty, logo se conclui que os julgamentos são consistentes. Para este caso ficou evidente que foram emitidos julgamentos consistentes baseado nas escalas propostas. Assim, foram calculadas as Prioridades Globais (PG's) das alternativas, mostradas na Tabela 11.

Tabela 11. PG das alternativas do separador de gás.

Alternativas	Prioridade Global (PG)		Alternativas	Prioridade Global (PG)	
	Cura Normal	Pós-cura		Cura Normal	Pós-cura
TA	11,26%	14,54%	TH	8,31%	8,18%
TB	5,09%	7,03%	TI	6,63%	6,41%
TC	5,04%	7,59%	TJ	5,91%	5,69%
TD	5,80%	3,44%	TK	8,56%	8,33%
TE	5,51%	5,69%	TL	3,33%	2,81%
TF	7,44%	4,67%	TM	10,77%	10,71%
TG	2,22%	2,13%	TN	14,12%	12,79%

Pela Tabela 11, pode-se concluir que considerando a cura normal do revestimento, a melhor opção para revestir o separador de gás seria o revestimento TN com 14,12% de prioridade, seguidos dos revestimentos, TA com 11,26% e TM com 10,77%. Considerando o método de pós-cura, a melhor opção seria o revestimento TA com 14,54% de prioridade, seguidos dos revestimentos TN com 12,79% e TM com 10,71%.

5.1.3 Desidratador

Para o terceiro teste foi escolhido um desidratador cuja área mede 354,7 m². Segundo o cronograma de parada, 2 pintores foram escalados para realizar o revestimento interno do desidratador. Ao igual que os testes anteriores foram obtidos razões de consistências lógicas menores que 0,1. A Tabela 12, mostra as PG's das alternativas.

Tabela 12. PG das alternativas do desidratador.

Alternativas	Prioridade Global (PG)		Alternativas	Prioridade Global (PG)	
	Cura Normal	Pós-cura		Cura Normal	Pós-cura
TA	8,08%	11,35%	TH	3,95%	3,83%
TB	1,85%	3,80%	TI	6,78%	6,56%
TC	5,16%	7,71%	TJ	3,13%	2,91%
TD	11,88%	9,52%	TK	8,65%	8,43%
TE	3,94%	4,12%	TL	9,41%	8,89%
TF	10,24%	7,46%	TM	13,81%	13,74%
TG	8,30%	8,21%	TN	4,81%	3,48%

Pela Tabela 12, pode-se concluir que considerando a cura normal do revestimento, a melhor opção para revestir o desidratador seria o revestimento TM com 13,81% de prioridade, seguidos dos revestimentos, TD com 11,88% e TF com 10,24%. Considerando o método de pós-cura, a melhor opção seria o revestimento TM com 13,74% de prioridade, seguidos dos revestimentos TA com 11,35% e TD com 9,52%.

6 Considerações Finais

O desenvolvimento desta ferramenta proporcionou para a empresa Petrobras uma nova abordagem na tomada de decisão de revestimentos anticorrosivos. O objetivo principal foi alcançado com a proposta da utilização de um modelo de auxílio multicritério (método AHP) para orientação da escolha do revestimento interno para os equipamentos de processo nas plataformas nos períodos de paradas de produção.

Os resultados apresentados foram satisfatórios e mostraram que é possível utilizar este método a fim de tornar mais ágil a tomada de decisão dos revestimentos que são mais adequados a cada situação analisada.

Como contribuições do projeto podem ser citadas: a proposição de uma estrutura hierárquica, que fornece melhor auxílio na escolha do revestimento; aquisição de informações pertinentes para o setor de revestimentos anticorrosivos, levantadas com os fornecedores referentes a todos os revestimentos da norma estudada; agilidade na escolha do revestimento; e o ranking dos revestimentos segundo sua prioridade de escolha.

Referências

1. Abreu, A. O., Campos, R.: O método AHP/ABC aplicado em uma indústria de serviços. In: XXVII Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 2007. Foz do Iguaçu – PR. Anais do Encontro Nacional de Engenharia de Produção - ENEGEP, 2007.
2. Costa, H. G.: Auxílio multicritério à decisão: método AHP. RJ: ABEPRO, 2006.
3. EXAME. Petrobras estabelece metas nas paradas de plataformas. Disponível em: <<http://exame.abril.com.br/negocios/empresas/noticias/petrobras-estabelece-metas-nas-paradas-de-plataformas>>. Acesso em: 03 de junho de 2014.
4. Finocchio, J.: Programação de parada de plataforma marítima utilizando o método da corrente crítica. 2009. 130f. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo. 2009.
5. Gentil, V.: Corrosão. 3 ed. Rio de Janeiro: LTC, 1996.
6. Nunes, L. P., LOBO, A. C. O.: Pintura Industrial na Proteção Anticorrosiva. 3a ed. Rio de Janeiro: Interciência: Petrobras, 2007.
7. Oliveira, J. L.: Revestimentos anticorrosivos para tanques de armazenamento de petroquímicos. Petro & Química. São Paulo, n. 319, p. 75-84. 2009.
8. PETROBRAS. Fatos e Dados - Petrobras esclarece sobre paradas programadas para manutenção de plataformas. Disponível em: <<http://fatosedados.blogspot.com.br/petrobras-esclarece-sobre-paradas-programadas-para-manutencao-de-plataformas/>>. Acesso em: 01 de junho de 2014.
9. PETROBRAS. Quem somos – Perfil. Disponível em: < <http://www.petrobras.com.br/pt/quem-somos/perfil/>>. Acesso em: 15 de jan. 2015.
10. Razeira, M. T., Boizan, L. C.: Curso de formação de operadores de refinaria: noções de otimização. Curitiba: PETROBRAS: UnicenP, 2002. 12 p.
11. Saaty, T. L.: Decision making with the analytic hierarchy process. European Journal of Operational Research, North-Holland, n.48, p. 9-26, 1990.
12. Saaty, T. L.: Método de Análise Hierárquica. São Paulo: McGraw-Hill, 1991.
13. Saaty, T. L.: How to make a decision: The analytic hierarchy process. International Journal of Services Sciences, v. 1, n. 1, p. 83-98, 2008.
14. Telles, P. C. S.: Materiais para equipamentos de processo. Interciência, 2003. 275 p.