

---

Copyright 2018, ABRACO

Trabalho apresentado durante o INTERCORR 2018, em São Paulo, no mês de maio de 2018.

As informações e opiniões contidas neste trabalho são de exclusiva responsabilidade do(s) autor(es).

## **AVALIAÇÃO NO DESEMPENHO À CORROSÃO DA CORRENTE DE SOLDAGEM DNO REVESTIMENTO À PLASMA DA LIGA INCONEL® 625 SOBRE O AÇO SAE**

**4130**

Letícia Caio<sup>a</sup>, Davi Manhães<sup>b</sup> e Eliena Jonko Birriel<sup>c</sup>

### **Abstract**

---

The risers used for drilling are considered the most critical part of an offshore pipeline. SAE 4130 tempered and tempered steel is the material traditionally employed for this function. Although this steel exhibits mechanical properties compatible with this use, it becomes pertinent to use protective coatings in order to avoid corrosive attack. The nickel-based Inconel® 625 alloy provides superior performance in applications susceptible to corrosion due to its excellent strength and is therefore commonly used as a coating of SAE 4130 steel by the Powder Feed Transfer Arc Welding Process (PTAP). In this work, the influence of three current values applied in PTAP welding, 100 A, 120 A and 140 A, was verified in order to evaluate the corrosion performance of the Inconel® 625 alloy as a coating of SAE 4130 steel, used in risers for petrochemical drilling. Scanning electron microscopy and field scanning electron microscopy (SEM-FEG), accelerated corrosion and electrochemical tests were performed. The results indicated that the 100 A current was sufficient to melt the base metal (SAE 4130 steel) without causing excessive dilution in the melt zone, allowing a satisfactory corrosion performance.

**Keywords:** corrosion; current; welding process; SAE 4130 steel; Inconel 625.

### **Resumo**

---

Os risers utilizados para perfuração são considerados a parte mais crítica de uma tubulação *offshore*. O aço SAE 4130 temperado e revenido é o material tradicionalmente empregado para esta função. Embora este aço apresente propriedades mecânicas compatíveis com esta utilização, torna-se pertinente o uso de revestimentos protetores, a fim de evitar o ataque corrosivo. A liga Inconel® 625, à base de níquel, apresenta um desempenho superior em aplicações suscetíveis à corrosão devida sua excelente resistência e por isso, é comumente utilizada como revestimento do aço SAE 4130 pelo processo de soldagem a Plasma de Arco Transferido Alimentado com Pó (PTAP). Neste trabalho, verificou-se a influência de três valores de corrente aplicados na soldagem PTAP, 100 A, 120 A e 140 A, com o intuito de avaliar o desempenho à corrosão da liga Inconel® 625 como revestimento do aço SAE 4130,

---

<sup>a</sup> Engenheira Química - UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL (UCS)

<sup>b</sup> Supervisor Alphatec Inovação em Infraestrutura – Macaé- RJ

<sup>c</sup> Doutora, Professora, Laboratório de Corrosão e Proteção Superficial - UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL (UCS)

empregado em extremidades de *risers* para perfuração petroquímica. Foram realizadas análises de microscopia óptica e eletrônica de varredura por emissão de campo (MEV-FEG), ensaios acelerados de corrosão e eletroquímicos. Os resultados indicaram que a corrente de 100 A foi suficiente para fundir o metal base (aço SAE 4130) sem causar excesso de diluição na zona fundida, possibilitando obter uma performance anticorrosiva satisfatória.

**Palavras-chave:** corrosão; corrente; processo de soldagem; aço SAE 4130; Inconel 625.

## **Introdução**

---

A atmosfera marinha é considerada um dos ambientes mais corrosivos, uma vez que apresenta íons de sais, principalmente íons cloretos ( $\text{Cl}^-$ ). Estes íons, devido a reatividade, são agentes corrosivos que podem destruir a passivação da superfície de metais, além de aumentar a condutividade do eletrólito (1;2).

A produção *offshore*, ou seja, serviços feitos a partir da costa marítima, bem como a crescente produtividade em meios agressivos no setor petroquímico, alavancaram as tecnologias de perfuração para a exploração em águas gradativamente profundas. Uma das maiores preocupações neste setor está voltada para os danos da ação corrosiva causados nos tubos de perfuração, devido à agressividade do ambiente marinho (3).

Os *risers* utilizados para perfuração do solo são tubos que ligam uma estrutura flutuante a um sistema submarino para fins como a perfuração, injeção e exportação, sendo encarregados de fazer a comunicação entre o poço e a sonda de perfuração. São ainda, considerados a parte mais crítica de uma tubulação *offshore*, devido às cargas dinâmicas e condições de ambiente que eles precisam suportar. Como forma de prevenir os processos corrosivos, faz-se importante o emprego de mecanismos protetores (4).

O aço SAE 4130 temperado e revenido é material tradicionalmente empregado na produção dos *risers* de perfuração, por ser termicamente tratável, de alta resistência mecânica e baixa liga, formando facilmente uma estrutura martensítica devido à presença de elementos como o cromo e molibdênio em sua composição (5;6).

Porém, torna-se relevante o uso de revestimentos sobre o aço SAE 4130, a fim de evitar o ataque corrosivo pronunciado, principalmente por  $\text{Cl}^-$ , promovendo um aumento no tempo de vida útil dos mesmos (7).

As ligas à base de níquel apresentam excelente resistência (8) e, por isso, são uma alternativa satisfatória para revestimento do aço de baixa liga.

Neste contexto, o objetivo do presente trabalho é verificar a influência de três valores de corrente aplicados na soldagem PTAP, a fim de avaliar o desempenho à corrosão e caracterizar quanto o comportamento morfológico, físico-químico e eletroquímico, da liga de níquel Inconel® 625 como revestimento do aço SAE 4130 temperado e revenido, empregado em extremidades de *risers* para perfuração petroquímica.

## **Metodologia**

---

## 2.1-Preparação dos corpos de prova

A empresa Alphatec S.A., localizada no Rio de Janeiro, cedeu os corpos de prova, que simularam as extremidades (regiões mais suscetíveis à corrosão) dos *risers* de perfuração. Nestes *risers*, o metal base foi o aço SAE 4130 e o metal de adição foi a liga Inconel® 625 na forma de pó.

O revestimento foi efetuado pela soldagem PTAP, variando-se três valores diferentes de corrente. Posterior ao revestimento, os corpos de prova foram submetidos ao processo de usinagem por brunimento em máquina laser, com a finalidade de obter uma superfície regular e com acabamento desejável. O Quadro 1 descreve a nomenclatura adotada para descrever os parâmetros que foram empregados na soldagem PTAP. A corrente foi medida em Ampères (A).

**Quadro 1 - Nomenclatura adotada para descrever os corpos de prova.**

Nomenclatura	Corrente (a) utilizada na soldagem PTAP
CP_100	100
CP_120	120
CP_140	140

A Figura 1 mostra a aparência corpos de prova como foram recebidos.



**Figura 1 - Corpos de prova como recebidos, sendo (a): CP\_100, (b): CP\_120 e (c): CP\_140**

Como pode ser observado na região em destaque da Figura 1, o corpo de CP\_140 apresentou descontinuidades na forma de deslocamento do revestimento metálico próximo ao cordão de solda, provenientes de falhas no processo de soldagem PTAP, tal como, o excesso da diluição na poça fundida (9;10).

Os corpos de prova (Figura 1) foram seccionados conforme a necessidade para a realização das caracterizações morfológica, físico-química e eletroquímica. Posterior ao corte, os corpos de prova foram desengraxados em uma solução de água destilada e detergente neutro da marca Prolab, na proporção de 1:5, durante 1 hora a 70°C. Em seguida, foram secos com ar quente.

## 2.2- Caracterização morfológica

As análises de microscopia óptica foram realizadas com um microscópio da marca Nikon, modelo Epyphot, localizado do Laboratório de Metalografia (LAMET) da Universidade de Caxias do Sul. As imagens foram ampliadas em 100 vezes.

Para as análises de microscopia eletrônica de varredura por emissão de campo (MEV-FEG), os corpos de prova foram lixados com água corrente e a sequência de lixas foi de granulometria 220, 320, 400, 600 e 1200. Após, os corpos de prova foram lavados com acetona e secos com ar quente e algodão, de modo a isentá-los de traços abrasivos, solventes e poeiras.

Posterior ao lixamento, os corpos de prova foram polidos, através de uma politriz e com pasta de diamante e novamente lavados com acetona e secos com ar quente.

Através das micrografias obtidas pelo MEV-FEG, observou-se a espessura dos corpos de prova. Com a técnica de EDS (Espectroscopia de Energia Dispersiva) acoplada ao MEV-FEG, observou-se os elementos químicos presentes no revestimento (ligas Inconel® 625) e no metal base (aço SAE 4130).

Para estas análises, utilizou-se o microscópio da marca Tescan, modelo Mira3 e foi realizado no Laboratório de Central de Microscopia (LCMIC) da Universidade de Caxias do Sul.

### **2.3- Caracterização físico-química**

Com o intuito de simular e verificar os efeitos causados pela atmosfera marítima na superfície dos corpos de prova por um determinado tempo, foram realizados ensaios de névoa salina neutra. O condicionamento em câmara de névoa salina foi realizado conforme a norma ASTM B117-16, em câmara de ensaio da marca Bass, modelo USX-6000/2012.

Realizou-se este ensaio em duplicata, ou seja, duas amostras para cada um dos três corpos de prova com as diferentes correntes (100, 120 e 140 A) empregadas da soldagem PTAP.

A caracterização físico-química foi executada no Laboratório de Corrosão e Proteção Superficial (LCOR) da Universidade de Caxias do Sul.

### **2.4- Caracterização eletroquímica**

A célula eletroquímica foi composta por um sistema de três eletrodos: o eletrodo de trabalho (corpo de prova de aço SAE 4130 com revestimento da liga de níquel Inconel® 625 com a variação de três valores de corrente empregados na soldagem PTAP), eletrodo de referência de calomelano saturado (ECS) com solução de KCl, e um eletrodo auxiliar (fio de platina). O eletrólito utilizado foi uma solução de NaCl 3,5% (m/V).

O monitoramento do Potencial de Circuito Aberto (OCP) foi realizado durante 1 hora para cada corpo de prova. Para obtenção das curvas de polarização potencioestáticas, foi utilizado um intervalo de varredura de 0 mV abaixo do potencial de circuito aberto (direção catódica) e +1000 mV acima desse potencial (direção anódica), com velocidade de varredura de 20 mV.s<sup>-1</sup> e com 0,739 cm<sup>2</sup> de área do corpo de prova exposta.

Os ensaios eletroquímicos também foram realizados em triplicata. Foi utilizado um potenciostato da marca IviumStat, modelo Ivium Technologies e com o *software* IviumSoft para auxiliar na coleta dos dados, no Laboratório de Corrosão e Proteção Superficial - Pesquisa (LCOR-P) da Universidade de Caxias do Sul.

## Resultados e discussão

### 3.1- Caracterização morfológica

As micrografias da Figura 2 apresentam imagens obtidas pelo microscópio óptico dos corpos de prova como foram recebidos.

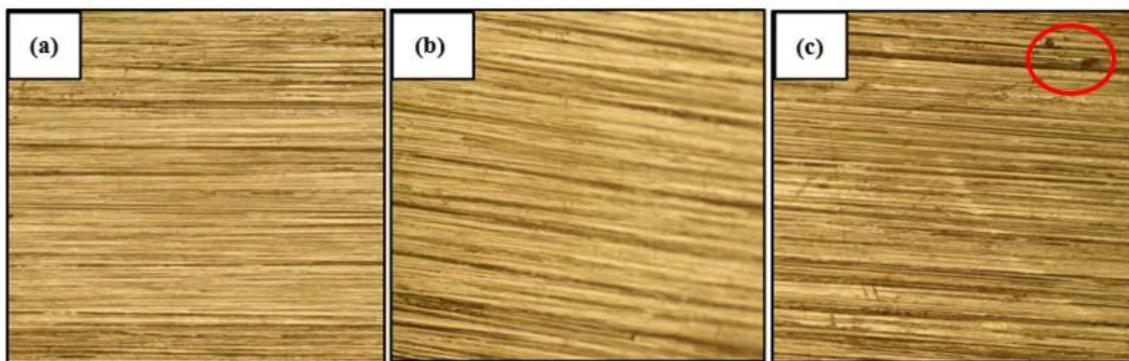


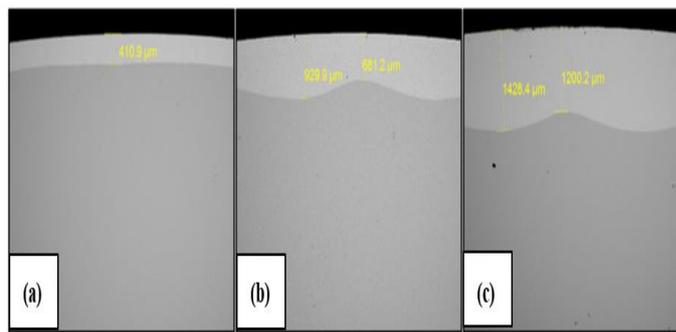
Figura 2- Ampliação de 100 vezes, sendo em (a): micrografia do CP\_100, em (b): micrografia do CP\_120 e em (c) micrografia do CP\_140.

Como pode ser observado na região em destaque da Figura 7 (c), o corpo de CP\_140 apresentou descontinuidades próximas ao cordão de solda, provenientes de falhas no processo de soldagem PTAP, tal como, o excesso da diluição na poça fundida (11).

Comparando os corpos de prova, verifica-se que superfície dos corpos de prova CP\_100 e CP\_120 não apresentaram diferenças superficiais relevantes. Ambos mostraram superfícies mais regulares, em comparação ao CP\_140 que apresentou mais imperfeições (riscos), em destaque na Figura 2.

A deposição do metal de adição por PTAP com valores de intensidade de corrente menores (100 e 120 A) resultou em superfícies lisas e com riscos estreitos. Assim sendo, o aumento da intensidade de corrente (140 A) ocasiona a formação de microfissuras grosseiras e com eventuais amassamentos (12;13).

A Figura 3 apresenta as micrografias da sessão transversal com ampliação de 50 x, para estimar a espessura da camada dos revestimentos Inconel 625® para os corpos de prova estudados com as três variações de corrente de soldagem (100, 120 e 140 A). A região de coloração cinza claro mostra o metal de adição, enquanto a região cinza escura representa o metal base.

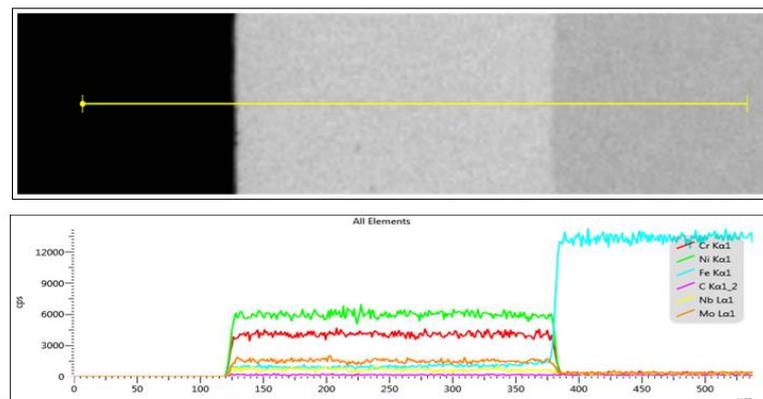


**Figura 3 - Micrografias do MEV-FEG realizadas para os corpos de prova, sendo (a) CP\_100, (b) CP\_120 e (c) CP\_140 com ampliação de 50 vezes.**

Como visto na Figura 3, o CP\_100 apresentou menor espessura no revestimento (em torno de 410,9  $\mu\text{m}$ ), o CP\_120 apresentou o revestimento intermediário (em torno de 805,5  $\mu\text{m}$ ) e o CP\_140 apresentou o revestimento de maior espessura (em torno de 1314,3  $\mu\text{m}$ ).

Os resultados de espessura de camada evidenciam que a intensidade de corrente utilizada influencia na espessura do cordão e assim, quanto maior for o valor da corrente, um maior volume do metal base é fundido, resultando em espessuras maiores (12).

As análises de EDS por linha foram realizadas do metal de adição (Inconel 625®) até o metal base (aço SAE 4130). A Figura 4 mostra o resultado da análise de EDS por linha no CP\_100.

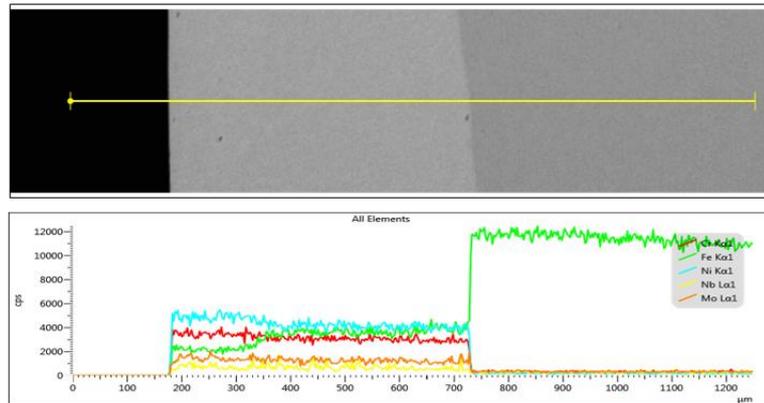


**Figura 4-Micrografia e análise de EDS por linha na transversal do corpo de prova CP\_100.**

Nota-se na Figura 4, que os elementos identificados na região do metal de adição do CP\_100 são o cromo, ferro, nióbio, molibdênio e em majoritariamente o níquel (cor verde). A partir da linha de fusão, ou seja, interface entre o metal de adição e o metal base, é evidenciado o ferro (cor azul) e o teor dos elementos citados anteriormente é insignificante. Este resultado era esperado, uma vez que o aço é constituído principalmente por ferro e a liga Inconel 625® por níquel (ASM, 1990).

No CP\_100 (revestimento de menor diluição), é possível observar que a quantidade de ferro na região do metal de adição é baixa, indicando um comportamento característico de revestimentos com baixa diluição. Além disso, o teor de ferro na região do metal de adição também é baixo (14).

A Figura 5 mostra o resultado da análise de EDS por linha no CP\_120.

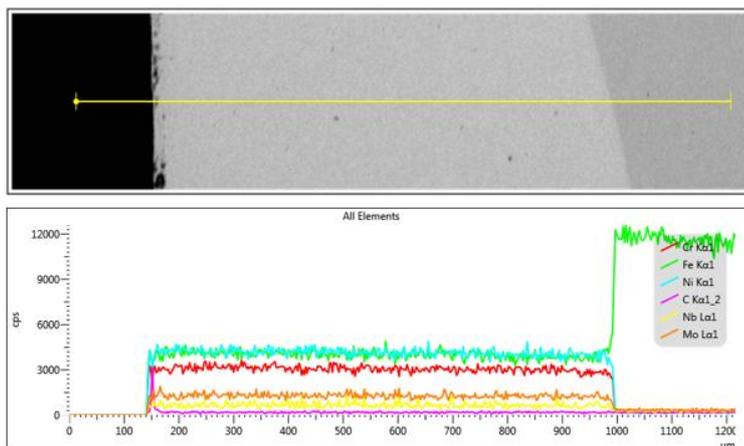


**Figura 5-Micrografia e análise de EDS por linha na transversal do corpo de prova CP\_120.**

Os elementos químicos identificados do CP\_120 são o cromo, ferro, nióbio, molibdênio e em maior teor o níquel (cor azul). Na região do metal de adição, o teor de ferro (cor verde) e níquel é distinto, porém a medida que se aproxima da linha de fusão, o teor desses elementos tende a se aproximar. Este resultado era esperado, e é coerente com o resultado obtido para o CP\_100, uma vez que quanto maior for a corrente aplicada, maior é a tendência do metal de adição se misturar ao metal base (12;15).

No CP\_120 (revestimento de diluição intermediária), nota-se que o teor de ferro na região do metal de adição é intermediária e também está de acordo com o resultado obtido para o CP\_100, caracterizando como um revestimento de diluição intermediária (14).

A Figura 6 mostra o resultado da análise de EDS por linha no CP\_140.



**Figura 6-Micrografia e análise de EDS por linha na transversal do corpo de prova CP\_140.**

A Figura 6, referente ao CP\_140, mostra na região do metal de adição predominantemente o níquel (cor azul) e outros elementos tais como, o cromo, ferro, nióbio e molibdênio. A partir da linha de fusão, é evidenciado o ferro (cor verde), enquanto o teor dos demais elementos é insignificante.

No CP\_140 (revestimento de maior diluição) é observado que ao longo do metal de adição a quantidade de ferro foi maior em comparação ao CP\_100 e CP\_120. Esse fato evidencia que o CP\_140 apresentou a maior diluição (17), uma vez que o ferro (elemento do metal base) está presente no metal de adição.

Não há diferença considerável no teor de ferro e níquel na região do metal de adição, indicando que a energia da soldagem PTAP foi alta, uma vez que a fusão teria misturado o metal base ao metal de adição (16;15).

O potencial de redução do ferro ( $E = -0,44 \text{ V}$ ) é menor que o potencial de redução do níquel ( $E = -0,23 \text{ V}$ ), o que sugere que sua tendência de oxidar é maior (17). Desta forma, com os resultados apresentados nas Figuras 4,5 e 6, prevê-se que o aumento da quantidade de ferro na região do cordão, observado no CP\_120 e CP\_140, aumenta a tendência à corrosão destes corpos de prova, por exemplo, por pites (18;17).

### 3.2- Caracterização físico-química

Os corpos de prova submetidos ao ensaio de névoa salina neutra e foram avaliados a cada 24 horas. O resultado é caracterizado conforme o aspecto visual dos corpos de prova.

A Figura 7 apresenta a superfície do corpo de prova CP\_100 antes do ensaio em névoa salina.

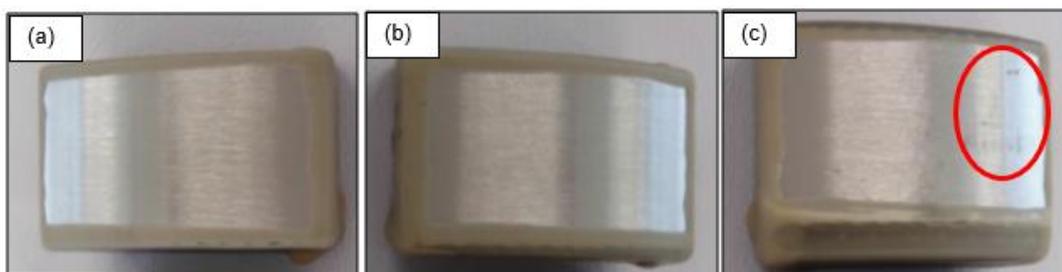


Figura 7- Aspecto inicial dos corpos de prova, sendo (a): CP\_100, (b): CP\_120 e (c): CP\_140.

Na Figura 7 estão mostrados os corpos de prova antes do início do ensaio. O CP\_100 e CP\_120 apresentam a superfície sem imperfeições. Na superfície do CP\_140 foi possível notar a presença de riscos, conforme indicado na Figura 7 (c).

O Quadro 2 apresenta os resultados do ensaio de névoa salina para os corpos de prova.

Quadro 2 - Ensaio de névoa salina para os corpos de prova CP\_100, CP\_120 e CP\_140

Tempo de ensaio (h)	Aspecto visual do CP_100	Aspecto visual do CP_120	Aspecto visual do CP_140
0	Sem alteração	Sem alteração	Imperfeições na forma de riscos
24	Ponto de oxidação sutil	Sem alteração	Pontos de oxidação
48	Ponto de oxidação sutil	Sem alteração	Pontos de oxidação

72	Sem alteração	Sem alteração	Sem alteração
96	Sem alteração	Ponto de oxidação sutil	Sem alteração
120	Sem alteração	Sem alteração	Sem alteração
144	Sem alteração	Sem alteração	Sem alteração
168	Sem alteração	Pontos de oxidação	Pontos de oxidação salientes
192	Sem alteração	Sem alteração	Sem alteração
216	Sem alteração	Vários pontos de oxidação	Sem alteração

Fonte: A autora, 2017.

Com base nos resultados apresentados no Quadro 2, entende-se que o CP\_100 obteve maior resistência à ação agressiva dos  $\text{Cl}^-$  presentes na névoa salina, indicando que a soldagem PTAP foi efetiva (19). Este resultado está de acordo com os apresentados anteriormente, pois este corpo de prova apresentou uma superfície regular e baixo teor de Fe na superfície.

### 3.3- Caracterização eletroquímica

O potencial de circuito aberto, ou seja, o potencial medido quando nenhuma corrente flui através da célula eletroquímica, foi analisado em imersão no eletrólito ( $\text{NaCl}$ ) durante uma hora, onde os maiores valores de potencial indicam uma melhor passividade da superfície do revestimento (20). A Figura 8 apresenta os valores das medidas de OCP para os corpos de prova estudados.

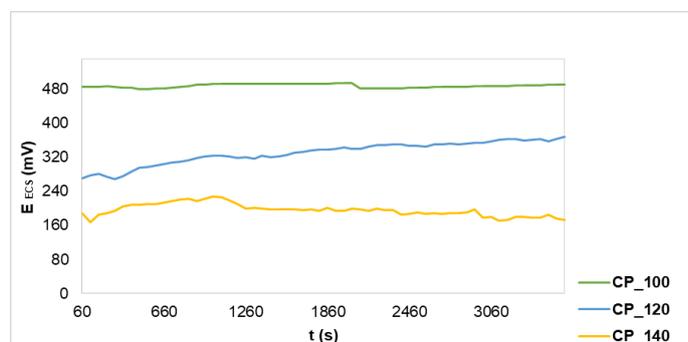


Figura 8- Curvas do potencial de circuito aberto para os corpos de prova.

Os valores de OCP (eixo y) para o CP\_100 são mais maiores (em torno de 480 mV) em relação aos demais, indicando uma melhor passividade da superfície aos processos corrosivos, ou seja, menos tendência para corrosão (8). Esse resultado era esperado, uma vez que corrobora com os ensaios discutidos até o momento, os quais demonstraram desempenho satisfatório para este corpo de prova (com corrente de 100 A na soldagem).

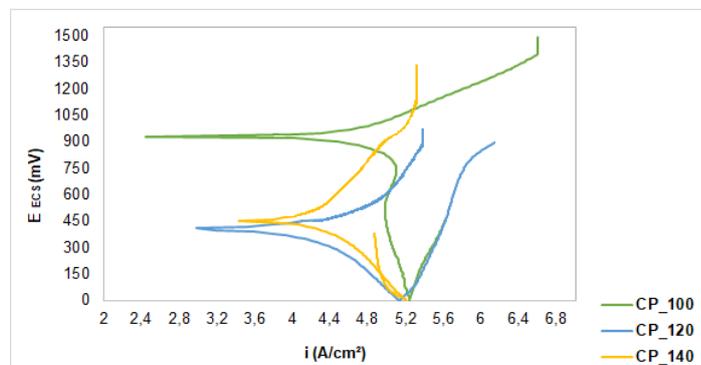
Os menores valores de potencial atribuídos aos corpos de prova CP\_120 e CP\_140 (em torno de 300 e 200 mV, respectivamente) e estão associados a qualidade inferior da soldagem de revestimento com valores de corrente mais altos (17;23). Esses resultados corroboram com as micrografias obtidas por microscopia óptica, onde a superfície do CP\_140 apresentava irregularidades em comparação ao CP\_100 e CP\_120. E também está de acordo com o

resultado do ensaio de névoa salina que relatou mais pontos de oxidação no CP\_120 e CP\_140.

Além do potencial de corrosão de um metal, é de interesse prático e teórico, o conhecimento do comportamento eletroquímico em um potencial de eletrodo diferente do potencial de corrosão, que é dado pelos ensaios de polarização (20).

Para a polarização anódica, impõe-se uma tensão que torna o potencial do metal mais nobre, a reação ocorre no sentido da dissolução anódica, evidenciado pelo aumento da densidade de corrente. Da mesma forma, para a polarização catódica, torna-se o potencial do metal menos nobre, para resultar em um suprimento de elétrons e a reação procede no sentido de deposição catódica, com a diminuição da densidade de corrente (20).

A curva de polarização potencioestática da Figura 9 foi realizada iniciando-se em potenciais catódicos em direção a potenciais anódicos.



**Figura 9- Representação das curvas de polarização para os corpos de prova.**

Salienta-se que no gráfico ilustrado na Figura 9, as densidades de corrente estão representadas em valores absolutos, uma vez que a densidade de corrente na polarização catódica é negativa.

Os resultados obtidos pelas curvas de polarização estão de acordo com os valores de OCP obtidos para cada corpo de prova. O CP\_100 apresentou os menores valores de densidade de corrente de corrosão (eixo x) comparativamente com os demais corpos de prova, além do potencial de corrosão (eixo y) maior, evidenciando melhor ação protetiva desse revestimento.

Os corpos de prova CP\_120 e CP\_140, apresentaram desempenho inferior. Esse resultado está de acordo com os resultados anteriores, onde esses corpos de prova apresentam maior teor de ferro na superfície, evidenciando excesso de diluição da poça fundida (devido ao excesso de energia), tornando o corpo de prova mais suscetível à corrosão.

## Conclusões

A partir dos ensaios realizados pode-se concluir que:

- A caracterização morfológica, através do ensaio de microscopia óptica, permitiu constatar que a deposição do metal de adição por PTAP no CP\_100 e no CP\_120 resultou em superfícies lisas e com fissuras longitudinais estreitas. Enquanto no CP\_140 foram observadas fissuras grosseiras.

Com base nas análises das seções transversais obtidas por MEV-FEG, foi evidenciado que a espessura do cordão está associada com a intensidade de corrente aplicada na soldagem PTAP, uma vez que o CP\_100 apresentou menor espessura do cordão, o CP\_120 mostrou espessura intermediária e o CP\_140 obteve a maior espessura.

Nas análises de EDS, notou-se que, conforme aumenta o valor de corrente aplicada na PTAP, menor é a intensidade de Ni e maior a intensidade de Fe na região do cordão. Assim sendo, o aumento da corrente aplicada na soldagem faz fundir mais o metal base, que conseqüentemente se mistura com o metal de adição, comprometendo a proteção anticorrosiva do revestimento. Tendo o conhecimento de que o Fe contido no aço SAE 4130 tem um potencial padrão menor que o Ni, e então, maior sua tendência à oxidação, o CP\_140 é mais suscetível à corrosão em comparação ao CP\_100 e CP\_120.

Na caracterização físico-química, com os ensaios de névoa salina neutra, foi observado se que o CP\_100 apresentou maior resistência à ação corrosiva dos Cl<sup>-</sup> em relação ao CP\_120 e CP\_140. Esse resultado estava previsto, porque o CP\_140 apresentou maior intensidade de Fe (elemento químico do metal base) na região do metal de adição. Do mesmo modo, está em concordância às imagens obtidas no microscópio óptico, onde o CP\_140 apresentava fissuras longitudinais grosseiras na superfície.

Na caracterização eletroquímica, com o monitoramento do OCP, foi constatado que o CP\_100, obteve valores maiores de OCP, indicando melhor passividade da superfície aos processos corrosivos, ou seja, menos tendência à corrosão em comparação ao CP\_120 e CP\_140.

As densidades de corrente, encontradas com os ensaios de polarização, ficaram conforme os valores de OCP obtidos para cada corpo de prova. O CP\_100 apresentou os menores valores de densidade, além do potencial de corrosão maior, evidenciando a ação protetiva desse revestimento. A corrente de 140 A pode ter causado o excesso de diluição na zona fundida e, provocando uma redução no desempenho à corrosão da superfície.

Este estudo permitiu verificar a influência dos três valores de intensidade de corrente (100, 120 e 140 A) aplicada na soldagem PTAP, e por meio das caracterizações realizadas, concluiu-se que a corrente de 100 A proporcionou melhor desempenho à corrosão da liga de Ni Inconel<sup>®</sup> 625 como revestimento do aço SAE 4130 temperado e revenido, empregado em extremidades de *risers* para perfuração petroquímica.

## Referências bibliográficas

---

- (1) LEITE, Leandro Alberto Silva. **Estudo da corrosão de aços-carbono e patinável durante 39 meses de exposição em ambiente marinho-industrial**. 2007. 89 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) - Curso de Engenharia Mecânica,

- Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2007.
- (2) YAN, Lidan et al. The corrosion behavior of PCB-ImAg in industry polluted marine atmosphere environment. **Materials & Design**, Beijing, v. 115, p.404-414, fev. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.matdes.2016.11.074>.
  - (3) ELIAS, Márcio de Souza. Avaliação Metalúrgica da Soldagem de Revestimento Inox Austenítico Sobre Aço SAE 4130. **Soldagem & Inspeção**, São Paulo, v. 18, n. 4, p.343-352, 2015.
  - (4) TAKEDA, Cynara. **Análise de fadiga para risers de perfuração**. 2008. 111 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Minas e Metalurgia) - Curso de Engenharia Oceânica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.
  - (5) LEE, I. K et al. Effect of Thermal Refining on Mechanical Properties of Annealed SAE 4130 by Multilayer GTAW. **Journal of Iron and Steel Research, International**, Taiwan, v. 19, n. 7, p.71-78, ago. 2012.
  - (6) VAN VLACK, Lawrence Hall. **Princípios de Ciência e Tecnologia dos Materiais**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2003. 597 p.
  - (7) NGUYEN, Thanh-tung et al. A phase field method for modeling stress corrosion crack propagation in a nickel base alloy. **International Journal of Solids and Structures**, Cedex, v. 18, n. 1, p.1-26, fev. 2017.
  - (8) WANG, Pei et al. Microstructural characteristics and mechanical properties of carbon nanotube reinforced Inconel 625 parts fabricated by selective laser melting. **Materials & Design**, Singapore, v. 112, n. 5, p.290-299, dez. 2016.
  - (9) SILVA, C. R.; FERRARESI, V. A.; SCOTTI, A. A Quality and Cost Approach for Welding Process Selection. **Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences**, Uberlândia, v. 22, n. 3, p.73-86, ago. 2000.
  - (10) DAVIS, J.R. **Surface Engineering for corrosion and wear resistance**, ASM International, 2001.
  - (11) KEJELIN, Norton Zanette. **Influência dos parâmetros de soldagem na formação de zonas parcialmente diluídas em soldas de metais dissimilares**. 2006. 127 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Materiais, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.
  - (12) GOLDSTEIN, Joseph et al. **Scanning Electron Microscopy and X-Ray Microanalysis**. 4. ed. São Paulo: Springer, 2017. 858 p.
  - (13) MODENESI, P. J. **Influências metalúrgica do fluxo de calor**, Apostila de Metalurgia da Soldagem, Belo Horizonte, 1985.
  - (14) SANTOS, Ana Claudia dos. **Avaliação da resistência à corrosão de revestimentos da liga UNS NO6625 depositados pelo processo PTA-P**. 2015. 125 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2015.
  - (15) SANDES, S. S. et al. Avaliação de Revestimentos de Liga de Níquel 625 Depositados pelo Processo Eletroescória. **Soldagem & Inspeção**, Rio de Janeiro, v. 21, n. 4, p.104-116, 2016.
  - (16) RIBEIRO, Rodrigo Andrade. **Análise comparativa de uma junta API 5L X65 revestida com Inconel 625 pelos processos: Soldagem TIG Automatizado e Soldagem por explosão**. 2014. 114 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes, 2014.
  - (17) GENTIL, V. **Corrosão**. 6. ed. Rio de Janeiro: Ltc, 2011.

- (18) CALCIOLARI, Fábio Luiz. **Influência das condições de eletrodeposição sobre a resistência a corrosão, susceptibilidade à fragilização por hidrogênio e à corrosão sob tensão do aço ABNT – 4340 revestido com liga Zn/Ni.** 2011. 217 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia de Materiais, Programa de Pós-graduação de Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2011.
- (19) GUNEN, Ali; KANCA, Erdogan. Microstructure and Mechanical Properties of Borided Inconel 625 Superalloy. **Matéria**, Rio de Janeiro, v. 22, n. 2, p.57-63, jun. 2017.
- (20) WOLYNEC, S. **Técnicas eletroquímicas em corrosão.** 1 ed., São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2013.