

## **A ELETROFORESE CATÓDICA NA INDÚSTRIA AUTOMOBILÍSTICA**

**Autores: Engº Nilo Martire Neto  
Gerente de Eletroforese**

**Engº Elaine Cristina A. Esparrachari  
Laboratório de Eletroforese**

**Paulo Jacir da Silva  
Chefe de Assist. Técnica Eletroforese**

**TINTAS RENNER S/A**

## A ELETROFORESE CATÓDICA NA INDÚSTRIA AUTOMOBILÍSTICA

### ÍNDICE

#### 1 - INTRODUÇÃO

#### 2 - CATAFORESE - CONCEITOS BÁSICOS

- 2.1 - Fundamentos
- 2.2 - Mecanismos de reação
- 2.3 - Operação
- 2.4 - Tipos para a indústria automobilística
- 2.5 - Tendências do mercado

#### 3 - PINTURA AUTOMOTIVA

- 3.1 - Fundamentos
- 3.2 - Tipos de substratos metálicos
- 3.3 - Causas e tipos de corrosão
- 3.4 - Pré-tratamento
  - 3.4.1 - Tipos de fosfatização
  - 3.4.2 - Aplicação - spray x imersão
- 3.5 - Aspectos que afetam o desempenho pré-tratamento x cataforese
- 3.6 - Métodos de avaliação

#### 4 - INFLUÊNCIA DA RUGOSIDADE NO ASPECTO FINAL DO VEÍCULO

- 4.1 - Conceitos
- 4.2 - Avaliação
- 4.3 - Comentários

#### 5 - BIBLIOGRAFIA

#### 6 - ANEXOS

## 1 - INTRODUÇÃO

Nos últimos 30 anos houve uma impressionante demanda no consumo de veículos, principalmente nos países mais desenvolvidos, como os Estados Unidos e Alemanha, onde observa-se uma taxa de 2,0 habitantes por veículo. Já em outros países menos desenvolvidos essa relação pode chegar a 12,0 habitantes/veículo.

No entanto, mesmo com o crescente emprego deste meio de transporte, que embora atendesse diversas exigências em condições distintas tanto de clima como de rodovias, evidenciou-se, nos anos 60, seu fraco desempenho quanto a deterioração pela corrosão. Paralelamente, a necessidade de veículos mais econômicos e possantes levou o mundo automotivo a procurar soluções para esses problemas, sendo que estas se fundamentaram na alteração do peso, forma e efeito protetivo dos veículos.

Com relação a esta última colocação, o grande avanço obtido, acrescido de outras melhorias, foi a utilização quase que global da Eletroforese Catódica já nos meados da década de 70. Seu desenvolvimento contínuo, aliado a várias outras soluções, têm resultado, nos dias de hoje, em garantias cada vez maiores na pintura automotiva.

Assim, este trabalho - "A Eletroforese Catódica na Indústria Automobilística" - discute primeiramente, os fundamentos da cataforese, seus mecanismos de reação e seus sistemas de pintura. Cita também, os principais tipos de cataforese impregados pela indústria automotiva e suas tendências futuras. Em outro tópico aborda-se, especificamente, a pintura automotiva, seus fundamentos e principais tipos de substratos utilizados, bem como os mecanismos de corrosão e fatores relevantes que afetam o desempenho do pré-tratamento x cataforese no aspecto final e na resistência a corrosão.

Algumas citações, atestadas pelo autor, deverão ser profundamente estudadas no futuro e devidamente dimensionadas e solucionadas, com o objetivo de assegurar um desempenho cada vez mais eficaz na manufatura deste bem de consumo que move tantas emoções no ser humano - o automóvel - e que, portanto, deve ser continuamente melhorado e inovado para atender as crescentes exigências e expectativas deste importante mercado.

## 2 - CATAFORESE - CONCEITOS BÁSICOS

### 2.1 - Fundamentos

A Eletrodeposição é um processo que permite pintar completamente objetos de geometria complexa, isto é, todas as superfícies internas e externas, bordas e furos periféricos, recebem uma camada de tinta uniforme e sem defeitos, de uma forma que não se pode conseguir por qualquer outro método de pintura.

Assim, basicamente a eletrodeposição ou eletroforese pode ser definida como a migração e deposição de polímeros carregados em um substrato condutor de eletricidade quando submetidos a uma diferença de potencial. Após a deposição ocorre uma neutralização de carga e subsequentemente a coagulação da resina, tornando-se desta forma insolúvel em água. Os banhos de pintura são composições de resina, pigmentos e aditivos dispersos em água, a uma concentração em geral em torno de 20%. O processo e fenômenos da eletroforese são similares aos que ocorrem na galvanotécnica, ou seja, na deposição de metais a partir de suas soluções, que serão abordados no próximo tópico.

Nos últimos anos a eletroforese vem se desenvolvendo exponencialmente por apresentar algumas vantagens de relevância quando comparada a outros processos de pintura ou seja:

- **AUTOMATIZAÇÃO:** Imergindo-se a peça no banho, pode-se pintar toda sua área. Nos sistemas convencionais de aplicação, tornam-se necessárias várias operações para se conseguir uma pintura aceitável, que mesmo assim é muito pouco eficiente quando comparados com a eletroforese.

- **UNIFORMIDADE DE FILME**

- **ECONOMIA DA TINTA:** por ser um sistema fechado, pode-se conseguir um aproveitamento de praticamente 100% da tinta.

- **NÃO INFLAMABILIDADE**

- **ECOLOGIA:** Os banhos de eletrodeposição produzem efluentes de fácil tratamento. Isto é devido ao mínimo teor de voláteis orgânicos, que não provocam danos ao meio ambiente quando utilizados corretamente.

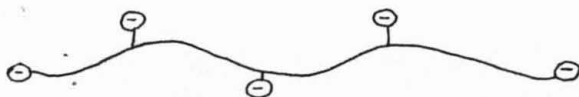
Por outro lado, apresenta algumas desvantagens, como:

- **CUSTO DE INSTALAÇÃO:** O sistema eletroforético exige um razoável investimento inicial devido a necessidade de equipamentos especiais mas que é rapidamente amortizado pela economia global que oferece.
- **CONTROLE DE QUALIDADE:** Apesar de relativamente simples, este sistema exige um controle diário dos parâmetros químicos e de processo em todas as etapas de pintura.
- **GAMA DE CORES:** No momento, para os sistemas de alto desempenho químico, pode-se conseguir diversas tonalidades, fora o branco.

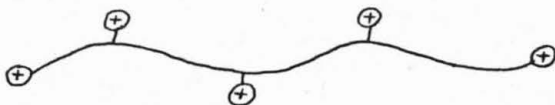
## 2.2 - Mecanismos de Reação

Existem dois tipos de deposição de pintura eletroforética:

- **ANÓDICA:** A resina da tinta tem carga negativa e o substrato funciona como o anodo.



- **CATÓDICA:** A resina da tinta tem carga positiva e o substrato funciona como o cátodo.



Durante o processo de eletrodeposição ocorrem fenômenos onde estão envolvidas quatro reações básicas:

- a - ELETROFORESE : é a migração dos polímeros carregados para eletrodos de carga contrária através do meio em que estão dispersos, depositando-se na superfície do eletrodo.
- b - ELETROCOAGULAÇÃO: Neutralização das cargas do polímero provocando a coagulação do mesmo.
- c - ELETROOSMOSE : saída de água e íons do filme coagulado para o banho.
- d - ELETRÓLISE : paralelamente sempre ocorre a eletrólise da água devido a presença de íons no banho.

Na eletroforese anódica ou, ANAFORESE, ocorrem as seguintes reações:

- No anodo:

- a - Deposição do filme
- b -  $Fe^0 \rightarrow Fe^{++} + 3e^-$
- c -  $2H_2O \rightarrow 4H^+ + 4e^- + O_2$
- d -  $RCOO^- + H^+ \rightarrow RCOOH$

- No cátodo:

- a -  $2H_2O + 2e^- \rightarrow 2OH^- + H_2$

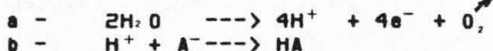
A deposição anódica é uma resina com grupos carboxílicos, neutralizado por uma base, formando uma dispersão aquosa.

Na eletrodeposição catódica ou CATAFORESE, ocorrem as seguintes reações:

- No cátodo:

- a - Deposição do filme
- b -  $2H_2O + 2e^- \rightarrow 2OH^- + H_2$
- c -  $Fe^{++} + 3e^- \rightarrow Fe^0$

- No anodo:



A deposição catódica é uma resina com grupos amínicos, neutralizados por um ácido geralmente orgânico, formando grupos de amônio quaternário disperso em água.

Vantagens do sistema de eletroforese catódica sobre a anódica:

- A tinta catiônica é um polímero com características alcalinas quando eletrodepositada. Materiais alcalinos tendem a ser inibidores de corrosão, ao contrário da anódica que é formada por ácidos orgânicos sendo que o polímero eletrodepositado tem alta acidez, portanto não é inibidor de corrosão.
- A pintura por eletrodeposição catiônica apresenta 30% a mais de poder de penetração sobre o sistema anódico, o que representa mais homogeneidade na espessura da tinta e garantia de aplicação em toda a superfície interna da peça.
- A pintura catódica apresenta 40% de economia em consumo de energia elétrica utilizada no processo.
- A pintura catódica mostra-se superior em resistência anticorrosiva em espessuras a partir de 10 microns, enquanto que as anódicas apresentam menor resistência mesmo em espessuras muito acima da citada.
- A pintura catódica apresenta pouca diferença na resistência anticorrosiva quando de variação do substrato metálico e seu tratamento químico.

Nos dias de hoje, todos estão convencidos de que o primer catiônico trouxe um grande avanço ao desempenho anticorrosivo dos objetos metálicos pintados, além de tornar-se de alta confiabilidade, reprodutibilidade e estabilidade quando comparado com outros sistemas de pintura.

Apesar do sucesso com este material, as pesquisas não pararam, sendo que estes desenvolvimentos foram dirigidos no sentido de se obter filmes com maior estabilidade e lisura com espessuras na ordem de 30 microns, contra os materiais catiônicos convencionais com espessuras média em torno de 17 microns.

Comparando-se o sistema de cataforese convencional com o sistema de alta espessura, algumas vantagens são evidenciadas, tais como:

- Melhor proteção contra a corrosão de bordas, devido o aumento da uniformidade e espessura do filme aplicado nessas áreas
- Melhor cobertura e nivelamento do filme, com menor incidência de lixamento e retrabalho das unidades
- Melhor poder de penetração, com melhor proteção anticorrosiva nas áreas internas
- Melhor resistência a ação de pedriscos, inclusive com melhor elasticidade do filme aplicado
- Melhor proteção anticorrosiva em partes onde não se assegura a total remoção dos óleos e graxas
- Melhor ancoragem do acabamento sobre o mesmo
- Menor tendência a sedimentação dos pigmentos contidos no banho, e conseqüentemente, menor sujidade horizontal nos veículos.
- Total compatibilidade com o material convencional de mesma origem facilitando, portanto, a conversão de sistema que se processa apenas com a gradual adição do novo produto ao tanque de pintura em produção (feed-over system), ao contrário do sistema anódico onde é necessário a remoção total deste para se usar o material catódico, devido ao fato de serem incompatíveis.

A cataforese de alta espessura encontra sua maior aplicação na pintura de caminhões e utilitários, onde pode-se substituir o conjunto composto de cataforese convencional mais primer surfacer. Com isto, obtém-se um aumento de qualidade e uma redução nos custos de pintura desses veículos.

Sua utilização em carrocerias de automóveis é também vantajosa, resultando na redução da espessura do primer surfacer, ou seja, substituindo-se por um material mais nobre e de fácil controle de aplicação como é a cataforese.

Na indústria de auto-peças, a utilização do mesmo é recomendada, principalmente onde se exige espessuras maiores que a cataforese convencional, ou ainda em peças onde o primer funciona também como acabamento.



## 2.3 - Operação

O diagrama 8.1 ilustra, de forma simples, um sistema de pintura por eletrodeposição catiônica, considerando-se as características básicas de uma instalação e sua operação.

## 2.4 - Tipos para a Indústria Automobilística

- Primer Eletroforético Catódico para uso em carrocerias:

Tipo	Baixa Espessura	Alta Espessura
Polímero	Epoxi-Uretânico	Epoxi-Uretânico
Espessura (microns)	14 a 20	28 a 32
Temperatura de cura (oC)	165 - 180	165 - 180
Resistência a corrosão (horas)	336	750
Poder de penetração (mm)	min. 330	min. 330
Aderência	Excelente	Excelente
Resistência a batida de pedra	Excelente	Excelente
Exp. Flórida 1 ano (c/acab.)	Excelente	Excelente
Pré-tratamento utilizado	Fosf.zinco/misto	Fos.zinco/misto
Cores utilizadas	Cinza/seus tons	Cinza/seus tons

## 2.5 - Tendências do Mercado

Apresenta-se claro que a pintura por eletrodeposição em conjunto com outras tecnologias tais como as tintas hidrossolúveis e as tintas em pó, têm desenvolvimento e aceitação cada vez mais crescentes. As dificuldades técnicas na sua utilização estão sendo rapidamente solucionadas. Desta forma, avançam as perspectivas de aplicação amplas de pintura por eletrodeposição como fundo anti-corrosivo ou como pintura de única demão.

Abaixo seguem alguns dos objetivos que a eletroforese já atingiu ou que estão em via de serem atingidos:

- Melhor aplicabilidade em artigos que utilizam diferentes metais, tais como mistura de aço-carbono, aço galvanizado e alumínio
- Menor emissão de vapores no processo de cura

- Menor temperatura de cura do filme, sem prejuízo do desempenho
- Maiores propriedades mecânicas do filme aplicado
- Possibilidade de pintura na cor branca e brilhante em uma única demão
- Redução/eliminação de metais pesados
- Eliminação total de solventes orgânico (V.O.C. = 0)

### 3 - PINTURA AUTOMOTIVA

#### 3.1 - Fundamentos

Atualmente, a pintura de um veículo automotivo está fundamentada não apenas em uma qualidade cada vez mais superior, mas também na alta produtividade. Aliadas a estes últimos, os principais quesitos deste segmento são:

##### a - Aspecto Visual:

- . Brilho e nitidez de imagem
- . Retenção das propriedades através de melhor resistência a riscos e intemperismo
- . Novas tendências - atendimento às solicitações de marketing.

##### b - Resistência a corrosão: chuvas ácidas, detritos agressivos contidos na atmosfera e no solo

##### c - Facilidade de reparos

Analisando-se o desenvolvimento das tintas anticorrosivas, a eletroforese catódica foi, sem dúvida, aquela que atingiu o maior grau de aceitação e confiabilidade.

Desde o princípio, as pesquisas nesta área foram dirigidas para a obtenção de materiais de alta qualidade anticorrosiva, mas que no entanto, produziam filmes de alta dureza. Esta característica pode levar a filmes com altas tensões internas que, em alguns casos, resultam na perda de sua aderência ao substrato, detectada principalmente em testes de calor, imersão em água e fadiga. Notou-se que este fenômeno era mais severo quando o substrato era aço galvanizado. Já, no caso do alumínio, a condição crítica era contornar problemas oriundos do alto pH de deposição do filme catafórico que reagia com este tipo de substrato.

Para minimizar estes efeitos, estudos detalhados foram efetuados na escolha do substrato e do pré-tratamento mais adequado para cada tipo de finalidade requerida. Por outro lado, também foi necessário compatibilizar as diversas camadas de tintas posteriores que muito contribuíram para se atingir o grau de qualidade apresentado nos dias de hoje e, a tendência no futuro é um crescente aprimoramento destes fatores em conjunto com idéias inovadoras.

### 3.2 - Tipos de Substratos Metálicos

Os metais, atualmente em uso na fabricação de carrocerias de veículos, vem sendo, como mencionado anteriormente, estudados, e várias são as composições de chapas utilizadas para cada finalidade requerida. Abaixo encontram-se alguns dos tipos considerados mundialmente de maior relevância:

- a - Aço Carbono Laminado a Frio (CRS) tipo 1010  
ASTM A-36  
Rugosidade Ra = 0,8 microns  
Composição Cu = 0,1; Cr = 0,01; Mn = 0,68; Si = 0,05  
Carbono 8 microns c/m<sup>2</sup>
  
- b - Aço Carbono Laminado a Quente
  
- c - Aço Galvanizado a Quente (HDG) Ultraliso ou Skin Pass com Floragem Minimizada  
  
Processo contínuo: 160/490g/m<sup>2</sup> (duas faces)  
Processo semi contínuo: 300/350g/m<sup>2</sup> (duas faces)
  
- d - Aço Eletro galvanizado (EGS)  
One Side / Two Sides
  
- e - Aço Galvaneal: Zn / Fe
  
- f - Electroalloy: Zn/Fe  
Zn/Ni  
Zn/Ni/Fe  
Zn/Al

g - Zinco Metal (ZRP)

h - Multilayer ElectroGalvanized Steel (MEG)

i - Alumínio com Tratamento "Cromate-Conversion"

j - Aço Carbono com Tinta Rico em Zinco

Como pode-se observar, um veículo projetado e construído com combinações tão diversificadas de metais, exigirá que os sistemas posteriores de pré-tratamento e CEDs sejam suficientemente capazes de promoverem uma uniformidade de aplicação sobre seus variados tipos, visto que terão diferentes desempenhos para a manutenção de sua qualidade final.

Alguma falha neste processo pode resultar em fenômenos que irão interferir na sua resistência à corrosão.

### 3.3 - Causas e Tipos de Corrosão

As causas de corrosão em veículos automotivos, podem ser devido a dois fatores que normalmente estão entre si relacionados:

- Ação Mecânica: Batida de Pedra ou Fadiga
- Ação Química: Pilhas Galvânicas

#### 3.3.1 - Ação Mecânica:

Pode-se observar 3 tipos de corrosão em veículos

- a - Corrosão cosmética
- b - Corrosão perfurante
- c - Corrosão estrutural

Estes três tipos de corrosão podem ser vistos nos testes de campo nas seguintes áreas dos veículos:

- Corrosão por danos a pintura (batida de pedra):  
Exemplo: caixa de rodas, capô, front-end, chassis, soleiras
- Corrosão por empossamento (pouca drenagem):  
Exemplo: portas, partes estruturais, caixas de rodas

- Corrosão nas partes soldadas:  
Exemplo: flanges e partes estruturais
- Corrosão de bordas:  
Exemplo: flanges, peças estampadas
- Corrosão por fadiga:  
Exemplo: provocada por fendas
- Corrosão por excesso de umidade:  
Através do fenômeno da capilaridade e devido a energia cinética provocada pela velocidade do veículo, a água forma uma névoa que se espalha pelas partes internas do carro, ocasionando a perda de adesão da película da tinta e a formação de bolhas tendo como consequência o início do processo de corrosão.
- Corrosão em componentes:  
Entende-se pelo conjunto de auto partes agregadas a carroceria.

### 3.3.2 - Corrosão Química

Já a corrosão química ocorre principalmente pela formação de pilhas galvânicas, também chamada de "corrosão eletroquímica", conforme reação abaixo:



----->

<-----

CORROSÃO

Pelas suas características, pode ser classificadas por:

- contato de dois metais com diferentes potenciais elétricos ou corrosão bimetálica
- concentração iônica de metais iguais submetidos a eletrólitos de diferentes concentrações
- oxigenação (ou aeração diferencial) de metais e eletrólitos iguais, porém com teores diferentes de gases dissolvidos
- Temperatura diferencial de metais e eletrólitos iguais, porém com temperaturas diferentes.

### 3.4 - Pré-Tratamento

O princípio da proteção anticorrosiva fundamenta-se em aplicar produtos que têm por finalidade impedir a reação de dois meios através da substituição por uma reação secundária mais favorável, ou pela formação de uma barreira pouco, ou quase nada permeável, entre estes dois meios ou materiais. No caso da fosfatização, por meio de uma reação química, forma-se sobre a superfície do metal uma camada de fosfato amorfo ou cristalino insolúvel e aderente. Este substrato, quando submetido a uma pintura posterior apresenta resultados finais superiores.

Desta forma, consideramos o processo de fosfatização como um dos itens de maior peso no desempenho anticorrosivo de um automóvel que em conjunto com o E.Coat Catódico, elevaram em muito, nos últimos anos, a vida média das carrocerias automotivas.

Basicamente, um pré-tratamento por fosfatização tem por objetivos:

- garantir uma superfície livre de óxidos, graxas e impurezas
- converter a superfície metálica em uma camada menos eletropositiva, isolando-a e promovendo uma proteção contra a corrosão através da neutralização de ataques químicos, físicos e elétricos
- evitar a deterioração do filme de tinta por reações de saponificação entre o seu polímero e o substrato metálico
- aumentar a área superficial melhorando a ancoragem da tinta ao substrato metálico

#### 3.4.1 - Tipos de Fosfatização

Atualmente, pode-se encontrar em um veículo quatro tipos de cristais de fosfato:

a - Hopeíticos	= $Zn_3(PO_4)_2 \times 4H_2O$
b - Fosfofiliticos	= $Zn_2Fe(PO_4)_2 \times 4H_2O$
c - Fosfonicolíticos	= $Zn_2Ni(PO_4)_2 \times 4H_2O$
d - Tricatiónico	= Zn; Ni; Mn

As camadas de fosfato formadas sobre o metal contêm concentrações de 0,5 a 1,7 g/l Zn e 12 a 16 g/l P205 que variam de acordo com as formulações apresentadas.

### 3.4.2 - Aplicação - Spray x Imersão

A vantagem do sistema de fosfatização por spray deve-se ao fato de ser um processo mais rápido, porque pode operar em sistemas de transportadores on-line. Já o sistema por imersão tem a vantagem de fornecer um tratamento uniforme em superfícies de forma complexas.

Genericamente o processo por spray tem a grande vantagem de associar a ação química a mecânica, enquanto que o processo por imersão produz uma camada uniforme em toda a superfície de uma peça.

Os nossos sistemas de fosfatização para a linha automotiva, procura sistemas mistos, visando assegurar a qualidade final de seu produto pela união das vantagens que os dois apresentam.

### 3.5 - Aspectos que Afetam o Desempenho Pré-Tratamento X Cataforese

No processo de deposição do cataforese sobre um pré-tratamento para diferentes tipos de metais, alguns aspectos devem ser levados em consideração e estudados profundamente. São eles:

- a - É de conhecimento que a água de cristalização do fosfato pode conter até 8 moléculas. Se no processo de cura do CED a temperatura for excessiva, esta poderá provocar a decomposição dos hidratos, resultando na perda de aderência e consequentemente falha na proteção anticorrosiva.
- b - O pH de deposição do CED é de 12,07, o que pode provocar a dissolução do filme de fosfato de zinco. Esta dissolução alcalina resulta na perda da aderência da tinta pelo enfraquecimento da ligação metal/fosfato. Paralelamente ocorre também um aumento na pressão osmótica, devido aos sais solúveis ocultos, que provoca uma elevação das forças de rompimento das ligações polímero/fosfato/metálico.

Alguns tipos de fosfatização têm menor solubilidade a álcalis. Esta característica é diretamente dependente da composição e estrutura do fosfato, como também de sua morfologia, isto é, tamanho do cristal, orientação e densidade dos poros. Também alguns tipos mais recentes de CEDs têm pH de coagulação por volta de 11,68 melhorando, por sua vez, a resistência a dissolução do tratamento de fosfatização.

15

c - A permeabilidade da água no filme de tinta é tão forte que é capaz de destruir a interface substrato/filme. Este fenômeno inicia um processo de corrosão em pequena escala pela permeação das moléculas dissociadas de oxigênio ou de cloreto e sulfato. Estes dois últimos são menos permeáveis que o oxigênio que, por sua vez, é bem menor que a água. Assim, a corrosão sob o filme de tinta se deve muito mais pela contaminação iônica antes da pintura do que pela defesa de agressores através do filme de tinta.

d - O teste de salt-spray não representa, nos dias de hoje, o único teste confiável e seguro no sentido de se avaliar e prever a resistência a corrosão. Materiais como o zinco e cádmio apresentam resultados de salt spray inverso aos obtidos nas avaliações de testes de campo. Sendo assim, os testes acelerados de campo, em nosso ponto de vista, é a avaliação mais segura, para definir uma modificação de processo ou produto.

e - O aço galvanizado a quente (HDG) e o galvaneal apresentam mais problemas quanto a adesão do CED e dissolução do substrato sob o filme, quando comparados com o zincrometal e um electroalloy com 13% Ni/Zn. Assim, apesar do HDG e o galvaneal serem eletroquimicamente mais ativos e, portanto, protegendo o ferro contra a ferrugem, apresentam um desempenho inferior sob o elpo (CED) devido a dissolução do filme que ocorre pelo processo galvânico.

No caso específico de superfícies galvanizadas, alguns problemas podem ocorrer:

1 - Os pontos brancos que aparecem nas superfícies galvanizadas são descritos como sendo provenientes, em alguns casos, dos aceleradores a base de  $ClO_3$ . Outras vezes, devido as partículas de ferro aderidas no galvanizado que provocam os chamados "pittings". Também se discute o fato de serem estes pittings brancos originados dos sais derivados de fluoretos.

2 - O tratamento de passivação por fosfato pode eventualmente diminuir a penetração de moléculas de água até a superfície do galvanizado pois como já foi dito é inevitável a osmose sobre o filme de tinta que pode promover assim o empolamento da superfície pintada.

Se por um lado o cromato aumenta a vida do galvanizado, por outro pode diminuir a aderência da tinta se a superfície do mesmo não for bem lavada.



3 - Crateras no CED sobre aço galvanizado desenvolvidas pela formação excessiva de hidrogênio podem diminuir a proteção anticorrosiva do conjunto. No zincrox este fenômeno não é observado enquanto que, no EG e HDG sua concorrência é larga. Já no zincrometal este fenômeno não é relevante devido suas propriedades intrínsecas.

4 - Zincrometal comparado ao aço carbono, apresenta excelente resistência à corrosão porém inferior quanto a eficiência de estampagem e soldabilidade em aço carbono e outros.

5 - Polímeros a base de diisocianato 4,4 difenil metano melhoram a aderência e também a flexibilidade do filme de tinta e a transferência de amarelamento no acabamento final, quando aplicados sobre galvanizados e quando comparados a outros produtos de TDI.

6 - As crateras no zinco podem ser originadas por ruptura localizada do filme de E. Coat originados por picos de voltagem nestas áreas, durante o processo de eletrodeposição.

7 - Uma camada baixa do filme de tinta promove o transporte de eletrólitos por capilaridade, ocasionando a perda de adesão e formação de blisters. Já o CED AE, que produz filmes de espessuras maiores, diminui este fenômeno, além de favorecer a eliminação de crateras.

8 - Um retificador de corrente eficiente com um ripple menor que 3% e o uso de filtros indutores e capacitadores favorecem a eliminação de crateras. A boa agitação e circulação do banho cataforético é altamente benéfico a eliminação de crateras.

9 - Outro fator que auxilia na diminuição de crateras e favorecimento da adesão úmida é o emprego de voltagem baixa e progressiva evitando assim a ruptura do filme nos picos de voltagem. Por outro lado, a alta condutividade da tinta também pode provocar a formação de crateras.

### 3.6 - Métodos de Avaliação

Com o crescente aprimoramento dos conhecimentos e técnicas para a avaliação da qualidade anticorrosiva dos sistemas de pintura, vários métodos de aplicabilidade indiretas têm sido desenvolvidos. Neste particular, durante muitos anos, o teste de resistência à névoa salina, ASTM B-117, foi o método mais aceito e aplicado mundialmente.

Atualmente, devido ao alto grau de qualidade do substrato e pintura alcançados, outros métodos para a avaliação da eficiência anticorrosiva estão sendo introduzidos com o objetivo de aumentar a confiabilidade na capacidade desta proteção nos veículos automotivos.

Encontram-se relacionados alguns destes testes considerados mais relevantes:

<u>Denominação</u>	<u>Duração (dias)</u>	<u>Observações</u>
Testes mecânicos	1	adesão, impacto, flexibilidade, ASTM
Umidade	42	ASTM D-2247
Névoa Salina	28	ASTM B-117 acompanha corte X/Batida de Pedra
Teste cíclico misto	60	acompanha corte X/Batida de Pedra
Intemperismo	180	acompanha corte X/Batida de Pedra
Teste em campo de provas 60 ciclos	60	c/condições pré estabelecidas
Observações de campo	>720	em áreas de uso + agressivo

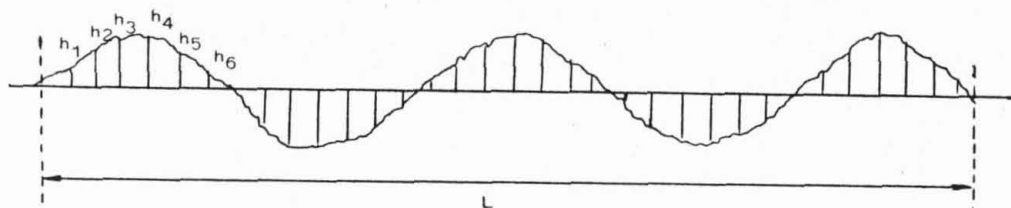
#### 4 - INFLUÊNCIA DA RUGOSIDADE NO ASPECTO FINAL DO VEÍCULO

##### 4.1 - Conceitos

A evolução dos equipamentos, o aumento das produções, a exigência da qualidade e os novos tipos de revestimentos fizeram surgir um método mais aprimorado de controle - a rugosidade. Sua importância, com o decorrer do tempo, tem aumentado sensivelmente tornando-a em um item de vital importância para o aspecto final de uma pintura.

A maneira mais simples de análise das superfícies é a comparação dos "parâmetros de rugosidade" obtidos pela leitura direta através de um profilômetro ou rugosímetro. Estes medidores fornecem valores discriminados como:

$R_a$  - é a média aritmética dos valores absolutos de rugosidade obtidos pelo profilômetro a partir de uma linha média, isto é, sobre um dado comprimento de superfície "L", a linha central é traçada de maneira que a soma das áreas acima desta linha seja igual a soma das áreas abaixo da mesma (vide figura abaixo).



$$R_a = \frac{h_1 + h_2 + h_3 + \dots + h_n}{L}$$

L

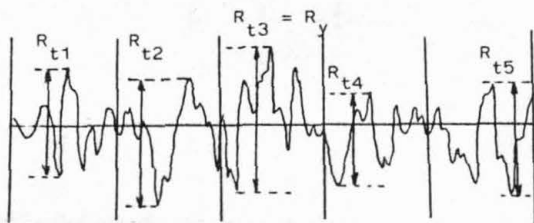
$R_{max} (R_t)$  - corresponde a distância, dentro de um dado comprimento de superfície "L", entre o pico mais elevado ( $R_{y_{max}}$ ) em relação ao vale mais profundo ( $R_{y_{min}}$ ), isto é:

$$R_z = R_t = R_{y_{max}} - R_{y_{min}}$$

$R_z(R_{tm})$  - é a média de todos os valores  $R_{max} (R_t)$  obtidos dentro de um dado comprimento de superfície "L" em relação ao tamanho da amostragem, isto é:

$$R_z = R_{tm} = R_{t1} + R_{t2} + \dots + R_{tm}$$

(vide figura abaixo)



No caso dos primers de eletrodeposição o parâmetro mais significativo é o Ra - média aritmética da rugosidade - e o método utilizado para esta medição é feito através de um "fator de cobertura" que representa a capacidade da tinta em "cobrir" uma determinada superfície.

$$\text{Fator de cobertura} = \frac{\text{Ra (substrato não pintado)} - \text{Ra (substrato pintado)}}{\text{Ra (substrato não pintado)}}$$

Ra (substrato não pintado)

Se um fator de cobertura for alto isto significa uma capacidade maior da tinta em "cobrir" o metal durante o processo de fabricação. Por exemplo, se a superfície da tinta estiver "perfeitamente" lisa, então o Ra (substrato pintado) poderia ser zero e, portanto, o fator de cobertura poderia ser 1. Desta forma, convencionou-se chamar esta capacidade de "nivelamento".

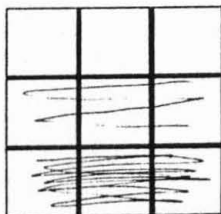
#### 4.2 - Avaliação

Atualmente o controle da rugosidade superficial tem ampliado sua aplicação visando, em particular na área do primer catódico, uma melhoria no aspecto final da pintura e controle do processo de fabricação.

Na tentativa de ilustrar o comportamento de um primer catódico, reportamos abaixo 3 tipos de análises envolvendo os parâmetros de rugosidade:

##### 4.2.1 - Nivelamento de metais jateados

Cinco painéis de 15 x 15 cm de três tipos de metais - alumínio, aço galvanizado a quente (HDG) e aço eletrogalvanizado (EG) foram divididos em 9 partes de 5 x 5 cm cada, da seguinte forma:



sem lixamento

lixamento 120

lixamento 80

para cada painel de 225 cm<sup>2</sup> e para cada tipo de metal, adotou-se a seguinte sistemática:

- a - 3 partes de 25 cm<sup>2</sup> foram deixadas sem pintar, isto é, 1 sem lixamento, 1 com lixamento 80 e 1 com lixamento 120,
- b - 3 partes de 25 cm<sup>2</sup> foram fosfatizadas e pintadas com primer catódico de alta espessura (sem lixamento, lixamento 80, lixamento 120)
- c - 3 partes restantes de 15 cm<sup>2</sup> foram fosfatizadas e pintadas com primer catódico de baixa espessura (sem lixamento, lixamento 80 e lixamento 120)

Assim, para cada combinação metal/lixamento/e.coat, 5 repetições foram feitas. As rugosidades foram medidas usando-se um equipamento Surtronic 3P (Taylor Hobson), em no mínimo 4 diferentes áreas de cada painel antes e após a eletrodeposição. Isto representa 20 leituras de rugosidade (4 áreas x 5 painéis) para todas as combinações citadas. Os resultados obtidos para o parâmetro de rugosidade - Ra (representação média) para os dois sistemas de eletrodeposição são apresentadas no anexo B.2.

Pela análise dos gráficos confirma-se previamente que o primer de alta espessura possui um poder de nivelamento superior ao de baixa espessura.

#### 4.2.2 - Nivelamento de aço fosfatizado

Para cada um de dois tipos de primer catódico - alta e baixa espessura - utilizou-se 10 painéis de aço carbono de 10 x 30 cm (laboratório) polidos, fosfatizados e eletrodepositados da seguinte forma:

- 5 painéis eletrodepositados com primer AE a 1,2 mil
- 5 painéis eletrodepositados com primer AE a 0,7 mil
- 5 painéis eletrodepositados com primer BE a 1,2 mil
- 5 painéis eletrodepositados com primer BE a 0,7 mil

Desta forma pode-se observar o comportamento do sistema de baixa espessura em espessuras mais altas que o normal, e o comportamento do sistema de alta espessura, em espessuras mais baixas que o normal, e também controlar o número de variáveis o máximo possível. Para as leituras do parâmetro de rugosidade Ra utilizou-se um perfilômetro Surtronic 3P (Taylor Hobson) em 3 regiões diferentes ao longo do comprimento antes e após a eletrodeposição. O anexo B.3, mostra os dados de nivelamento obtidos para os dois tipos de produtos de eletrodeposição.

Os dados obtidos em painéis de laboratório confirmar os valores obtidos no item 4.2.1., isto é, os primers de eletrodeposição catódica de alta espessura fornecem propriedades de nivelamento superiores aos de baixa espessura.

#### 4.2.3. - Nivelamento Superfícies Verticais X Superfícies Horizontais

Utilizando-se dois tipos de primer catódico - alta e baixa espessura e três tipos de cura, isto é, subcurado (180oC. - 15 minutos), cura normal (180oC. - 20 minutos) e super cura (200oC. - 25 minutos) para os substratos:

- aço sem tratamento,
- aço fosfatizado e
- aço galvanizado (EG)

as leituras do parâmetro de rugosidade Ra através do Surtronic 3P (Taylor Hobson) foram tomadas em 3 áreas distintas tanto para superfícies verticais como horizontais e obteve-se os seguintes resultados conforme anexo 8.4, 8.5, 8.6, 8.7, 8.8 e 8.9. Também nestes testes fica evidenciado a superioridade do poder de nivelamento do primer catódico de alta espessura.

#### 4.3 - Comentários

Como se sabe, um dos principais objetivos dos primers de eletrodeposição é inibir a corrosão de um substrato metálico. Um primer que oferece um bom nivelamento do metal, mas tem uma fraca resistência a corrosão não seria apropriado, principalmente nas aplicações automotivas.

Sendo assim, neste trabalho fica evidenciado que a melhoria na capacidade de nivelamento não provoca nenhum tipo de deficiência na resistência corrosiva já alcançados com os tradicionais primers catódicos.

5 - BIBLIOGRAFIA

5.1 - W.Machu, "Handbook of Electropainting Technology", Electrochemicals Publication Ltd., (1978)

5.2 - Surtronic 3P, Operating Instructions, Taylor-Hobson

5.3 - Technical Information Electrocoat Products Tintas Renner SA

5.4 - Technology Manual - Cormax, Du Pont Automotive Products

5.5 - Process Control Manual - Cormax, Du Pont Automotive Products

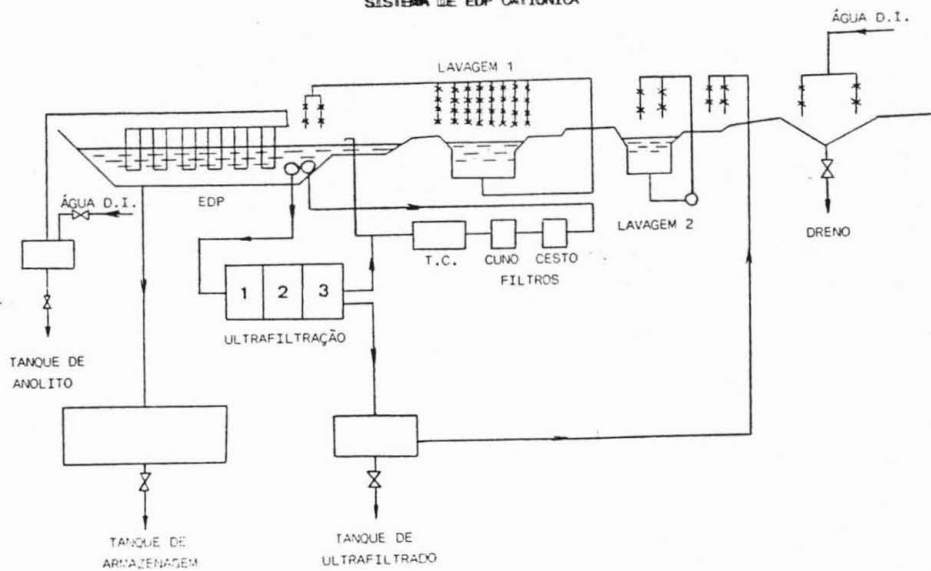
5.6 - Electrocoat 86 - Conference Proceedings

5.7 - Electrocoat 90 - Conference Proceedings

5.8 - Electrocoat 92 - Conference Proceedings

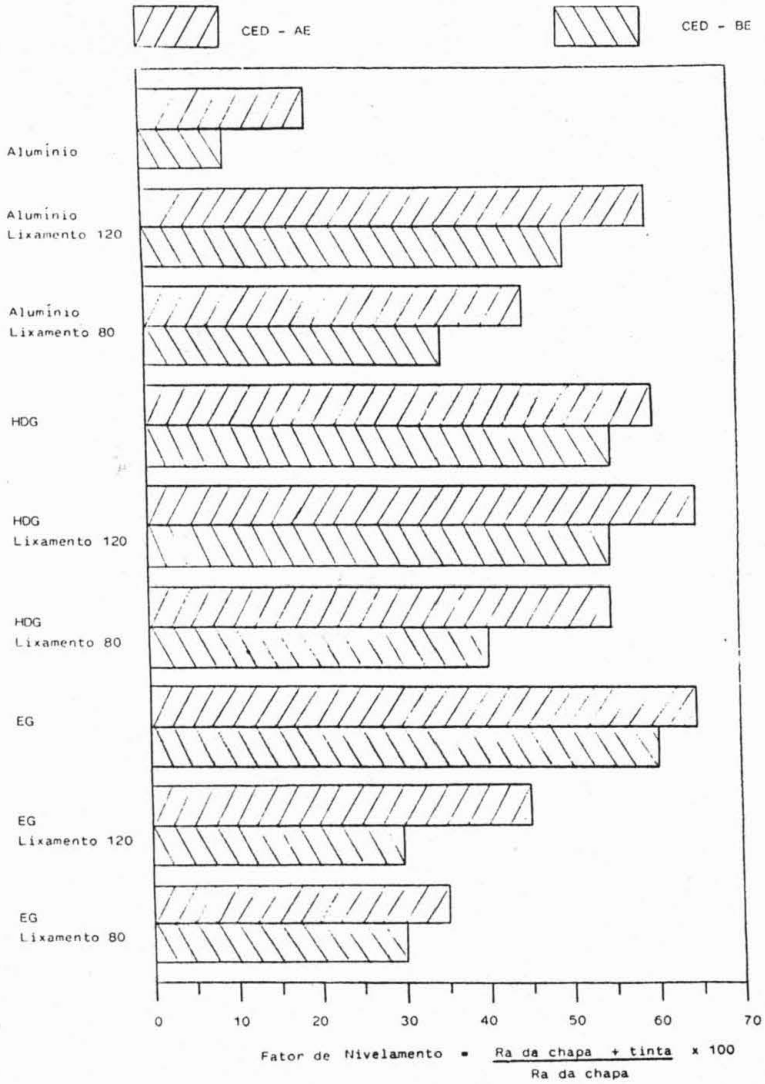
5.9 - Ebrats 87- V Encontro Brasileiro de Tratamento de Superfície

SISTEMA DE EDP CATIONICA





Nivelamento de Metais Jateados



Anexo 6.3

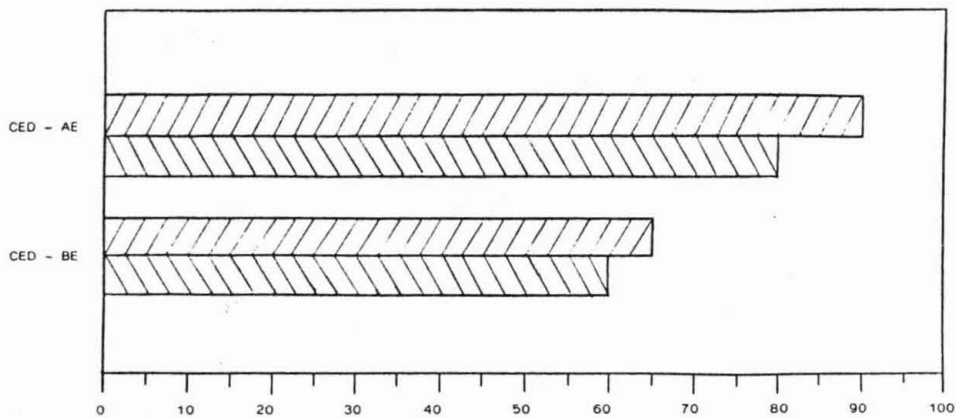
Nivelamento de Aço Fosfatizado



1,2 microns

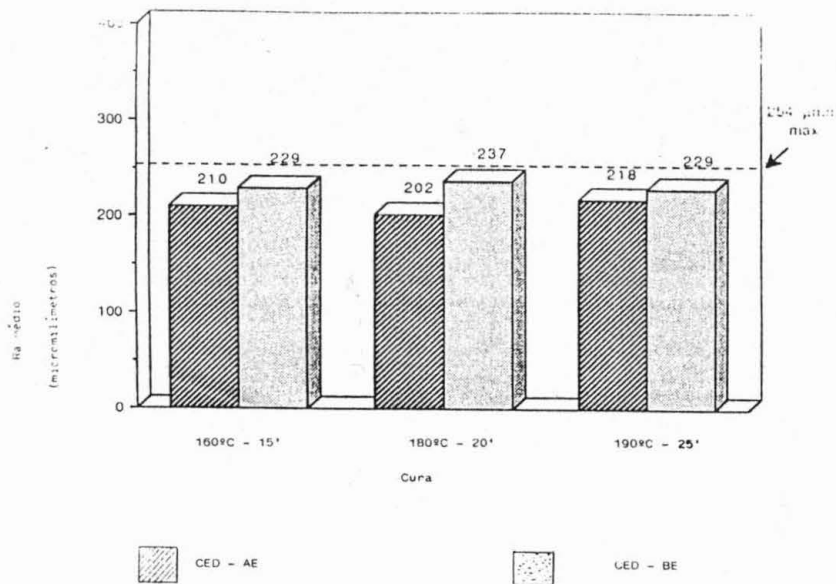


0,7 microns



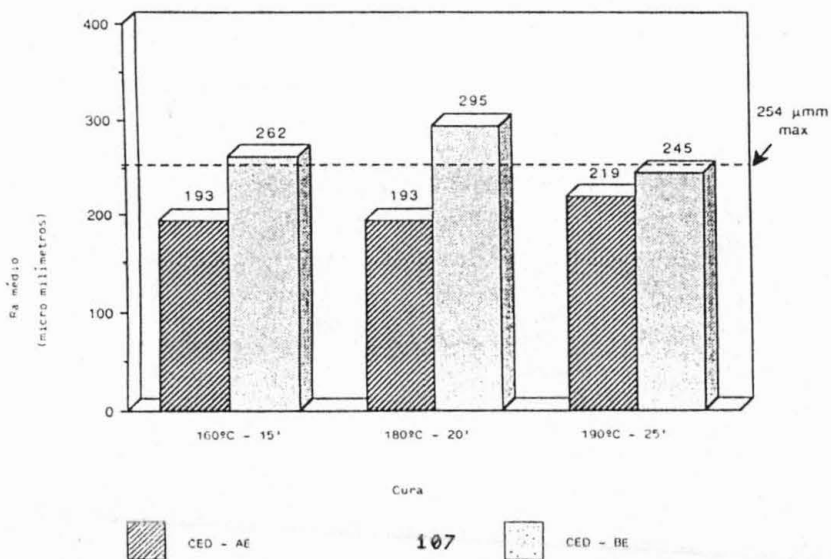
$$\text{Fator de Nivelamento} = \frac{\text{Ra da chapa + tinta}}{\text{Ra da chapa}} \times 100$$

Grau de Nivelamento Vertical  
Aço Carbono sem Tratamento

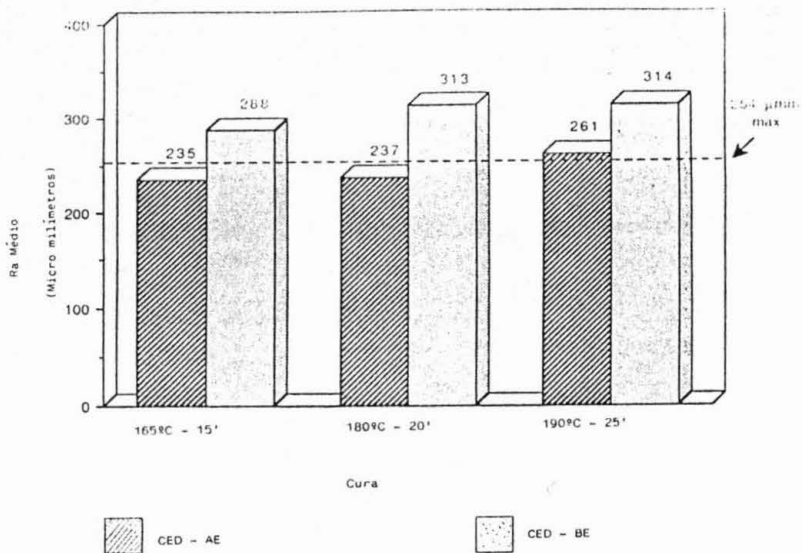


## Anexo 6.5

Grau de Nivelamento Vertical  
Aço Carbono Fosfatizado

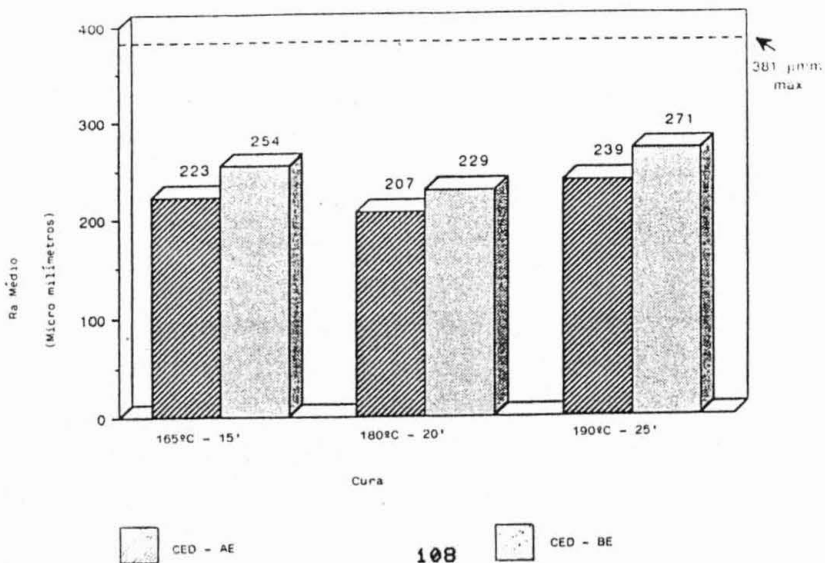


Grau de Nivelamento Vertical  
Aço Eletro galvanizado

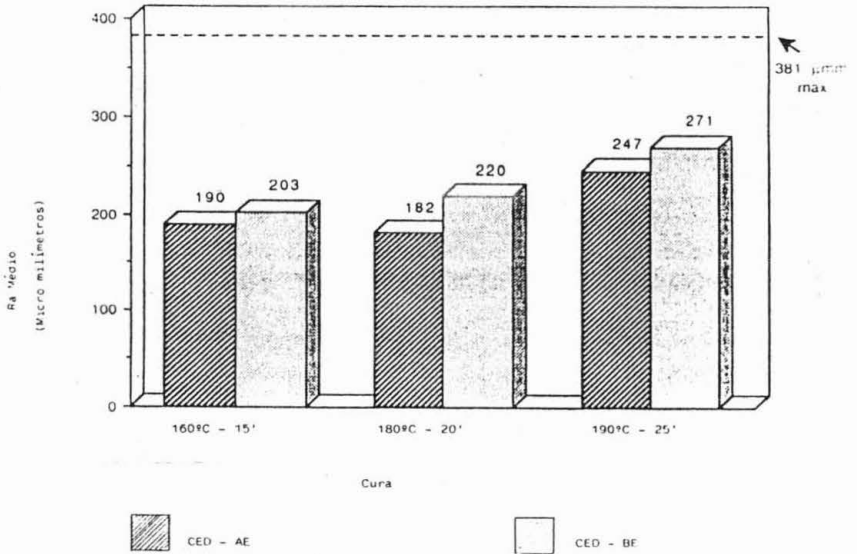


Anexo 6.7

Grau de Nivelamento Horizontal  
Aço Carbono Sem Tratamento



Grau de Nivelamento Horizontal  
Aço Carbono Fosfatizado



Grau de Nivelamento Horizontal  
Aço Carbono Eletro galvanizado

