

ADEQUAÇÃO DA CONSTANTE DIELÉTRICA DOS BANHOS DE ANODIZAÇÃO – MODELAGEM PARA ADEQUAÇÃO DA CONSTANTE DIELÉTRICA DA EQUAÇÃO MATEMÁTICA QUE REPRESENTA O PROCESSO DE ANODIZAÇÃO ÀS CONDIÇÕES REAIS DO PROCESSO DE PRODUÇÃO DE FILME ANÓDICO DA CBA⁽¹⁾

⁽²⁾ João Inácio Gracioli Guimarães

⁽³⁾ Júlio César Rodelli

⁽⁴⁾ Vinícius Barreira Vasconcelos

RESUMO

O processo de produção do filme anódico na superfície do alumínio conferindo propriedades sob tudo de resistência à corrosão é descrito através de modelo matemático que estabelece a relação física entre tempo de processamento (t), densidade de corrente elétrica (ρ) (relação de corrente e área superficial onde da formação da película) e espessura desejada da película de óxido (μ). A literatura estabelece a relação matemática onde a proporcionalidade é mensurada através da constante dielétrica (K) permitindo equacionar a relação da seguinte forma,

$$t = \frac{\mu}{k \cdot \rho}$$

onde K tem valor de 0,30.

O trabalho em questão visa reavaliar o valor da constante dielétrica (K) nas condições reais de processamento da planta de tratamento de superfície da CBA, podendo dessa forma melhor controlar os parâmetros de processo, principalmente tempo de processamento (t). O resultado obtido para K quando da conclusão do trabalho, K= 0,33, possibilitou estabelecer redução de tempo de processamento trazendo benefícios a produtividade da planta bem como o controle da espessura de filme anódico (μ).

Palavras Chave: anodização, constante dielétrica e filme anódico

(1) IV Congresso Internacional do Alumínio – Chamada de Trabalhos - Tratamento de Superfície. 18, 19 e 20 de maio de 2010– São Paulo – Brasil.

(2) Consultor de Engenharia, (3) Técnico de Processo, (4) Engenheiro de Processo

ADEQUAÇÃO DA CONSTANTE DIELÉTRICA DOS BANHOS DE ANODIZAÇÃO – MODELAGEM PARA ADEQUAÇÃO DA CONSTANTE DIELÉTRICA DA EQUAÇÃO MATEMÁTICA QUE REPRESENTA O PROCESSO DE ANODIZAÇÃO ÀS CONDIÇÕES REAIS DO PROCESSO DE PRODUÇÃO DE FILME ANÓDICO DA CBA(1)

1. INTRODUÇÃO.

O objetivo principal da formação de camada de óxido de alumínio de espessura controlada sobre a superfície do alumínio se dá no sentido de proporcionar proteção e durabilidade através da propriedade adquirida de resistência a corrosão provocada por intempéries naturais e artificiais. O processo de anodização proporciona a formação de óxido de alumínio, película com fins protetivos e decorativos, através do processo de conversão química do alumínio em óxido de alumínio. A anodização é um processo eletrolítico ou eletroquímico que promove a formação de uma camada controlada e uniforme de óxido na superfície do alumínio ¹. Na figura 1 está apresentada esquematicamente uma cuba eletrolítica para processo de anodização.

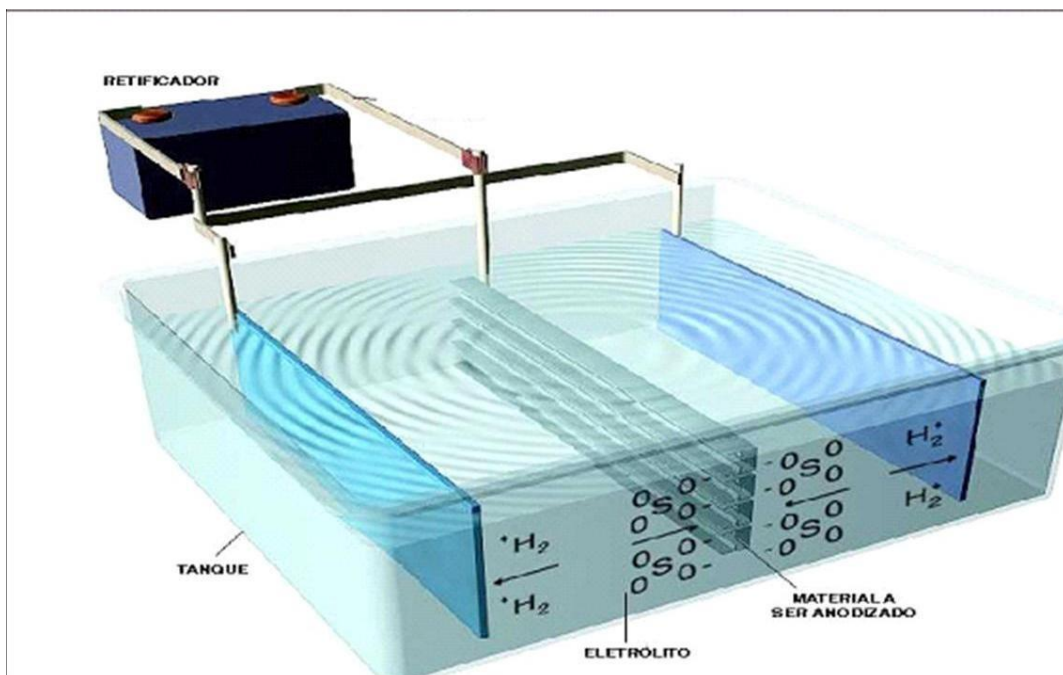


Figura 1: Processo de anodização com eletrólito a base de ácido sulfúrico.

O processo de anodização é comumente constituído por eletrólito a base de ácido sulfúrico por razões de baixo custo desse eletrólito. Para realização do processo de anodização são controlados parâmetros termodinâmicos de temperatura e vazão de troca térmica do eletrólito, tempo de processamento, bem como parâmetros elétricos de voltagem e amperagem para que a reação eletroquímica de formação da camada de óxido ocorra.

A figura 2 ilustra esquematicamente a camada de óxido de alumínio e seu estágio de crescimento durante o processo de anodização.

ADEQUAÇÃO DA CONSTANTE DIELÉTRICA DOS BANHOS DE ANODIZAÇÃO – MODELAGEM PARA ADEQUAÇÃO DA CONSTANTE DIELÉTRICA DA EQUAÇÃO MATEMÁTICA QUE REPRESENTA O PROCESSO DE ANODIZAÇÃO ÀS CONDIÇÕES REAIS DO PROCESSO DE PRODUÇÃO DE FILME ANÓDICO DA CBA(1)

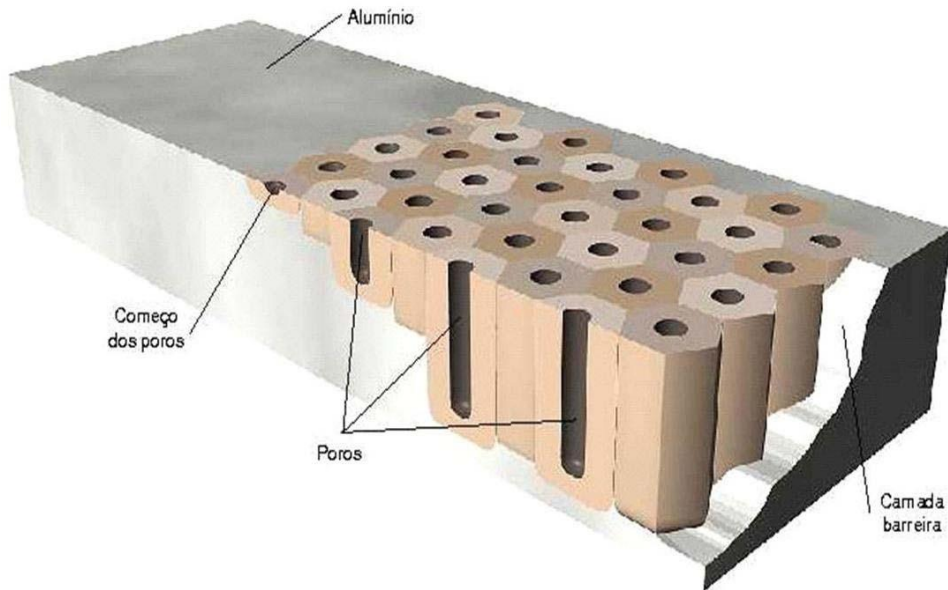
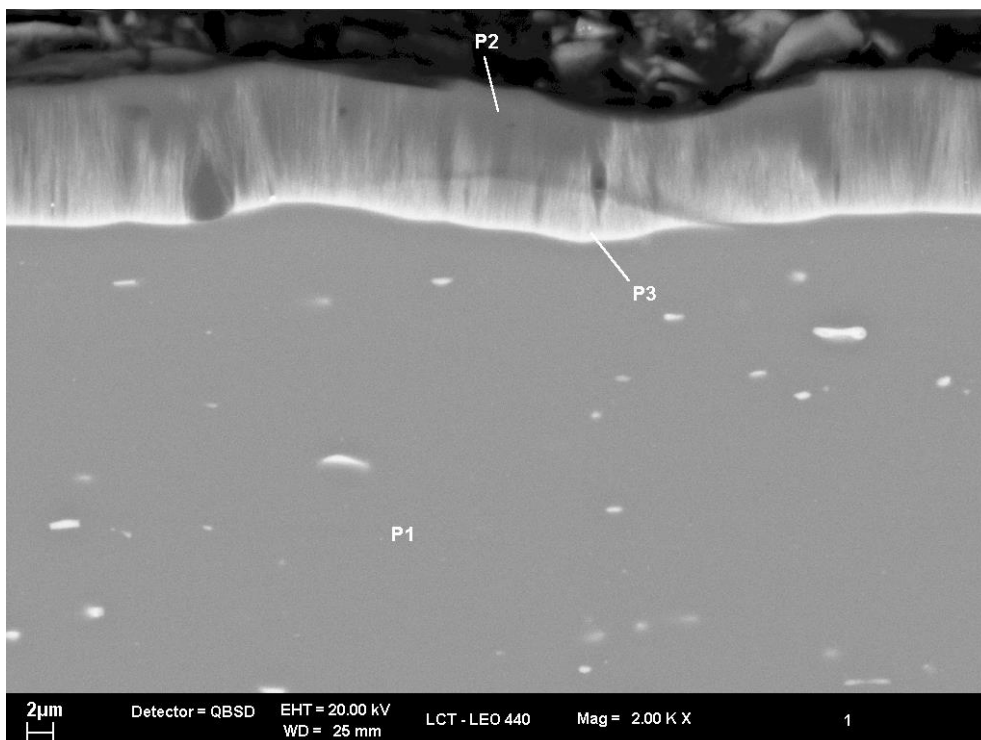


Figura 2: ilustração esquemática da camada de óxido obtida no processo de anodização.

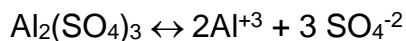
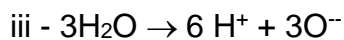
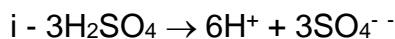
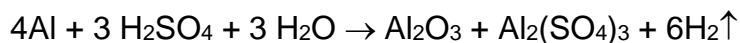
A figura 3 apresenta a imagem obtida por microscopia eletrônica de varredura da camada de óxido do processo da CBA.



ADEQUAÇÃO DA CONSTANTE DIELÉTRICA DOS BANHOS DE ANODIZAÇÃO – MODELAGEM PARA ADEQUAÇÃO DA CONSTANTE DIELÉTRICA DA EQUAÇÃO MATEMÁTICA QUE REPRESENTA O PROCESSO DE ANODIZAÇÃO ÀS CONDIÇÕES REAIS DO PROCESSO DE PRODUÇÃO DE FILME ANÓDICO DA CBA(1)

Figura 3: imagem de Microscópio Eletrônico de varredura (MEV) da camada de óxido de alumínio do processo de anodização da CBA. P1 indicando região do substrato - alumínio base, e P2 e P3 camada de óxido de alumínio.

A reação química que representa o processo de formação do óxido de alumínio está representada abaixo.



Para o controle da camada de óxido em formação, além de controles dos parâmetros de temperatura, voltagem e amperagem, o controle de tempo é o fator determinante para a obtenção da espessura desejada. Propriedades de resistência a corrosão e, portanto durabilidade, estão intimamente ligadas a espessura da camada de óxido, bem como o bom desempenho dos processos decorativos posteriores como o de eletrocoloração.

A taxa de crescimento da camada de óxido é diretamente proporcional a densidade de corrente, que é a relação entre corrente elétrica disponibilizada para processo e área para formação do óxido. Dessa forma, é estabelecida pela literatura a relação matemática de tempo de processamento (t), espessura da camada de óxido (μ) e densidade de corrente elétrica (ρ), onde a razão de proporcionalidade entre elas é mensurada através da constante dielétrica de proporcionalidade(K) permitindo equacionar a relação da seguinte forma:

$$t = \frac{\mu}{k \cdot \rho}$$

onde K tem valor de 0,30⁻¹.

Utilizando dessa formulação matemática para cálculo do tempo e objetivando a espessura de 13 μm no período de 2004 a 2007 e 12 μm de 2008 em diante para a classe de espessura A13, 11 a 15 μm , a figura 4 apresenta os resultados médios de espessura obtidos nesses períodos.

ADEQUAÇÃO DA CONSTANTE DIELÉTRICA DOS BANHOS DE ANODIZAÇÃO – MODELAGEM PARA ADEQUAÇÃO DA CONSTANTE DIELÉTRICA DA EQUAÇÃO MATEMÁTICA QUE REPRESENTA O PROCESSO DE ANODIZAÇÃO ÀS CONDIÇÕES REAIS DO PROCESSO DE PRODUÇÃO DE FILME ANÓDICO DA CBA(1)

Analisando a figura 4, pode-se perceber que a equação utilizada para o cálculo de tempo de processamento fornecia, em função das espessuras especificadas, valores de tempo de processamento que resultavam em espessura de camadas consideravelmente maiores que os valores desejados. Os resultados de espessuras obtidos eram em torno de 10% acima dos valores desejados. Dessa forma, era necessário adequar o valor da constante K da equação que determinava o tempo de processamento.

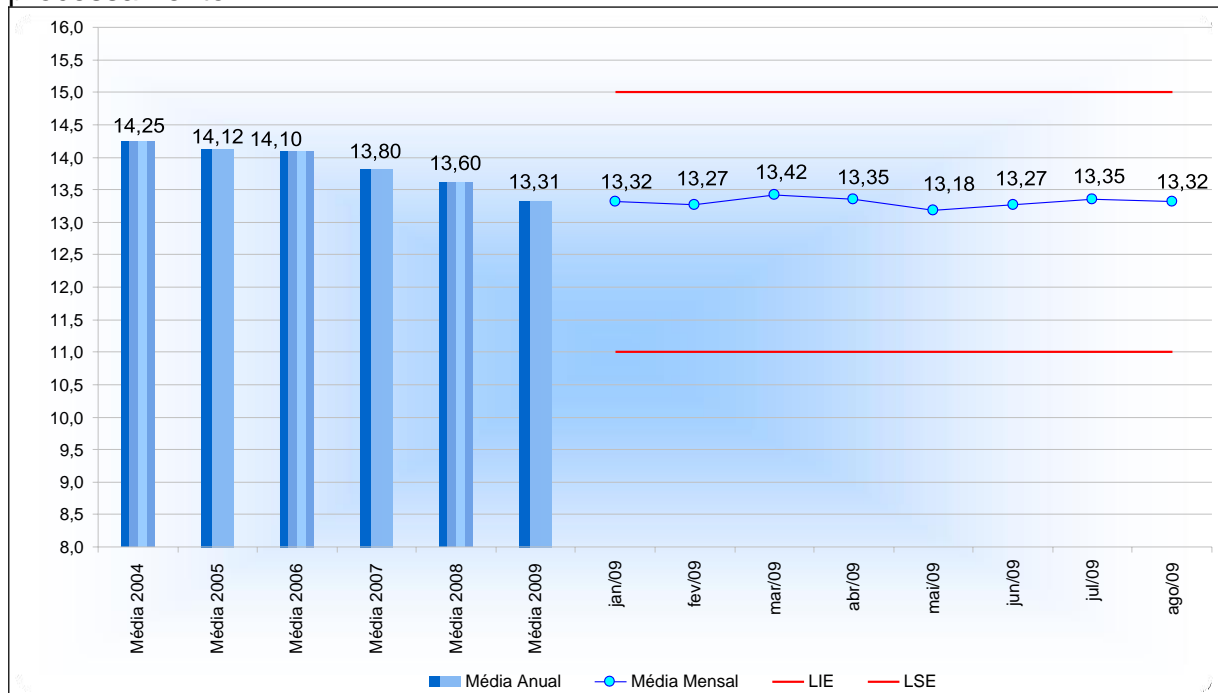


Figura 4: resultados médios de espessuras de camada de anodização obtida na planta de anodização da CBA.

O presente trabalho apresenta a determinação do valor da constante K estabelecida para as condições reais do processo de anodização da planta da CBA, no sentido de adequar a equação matemática para o cálculo do tempo, de tal forma a obter resultados de espessura com menor erro em relação a espessura determinada para resultado do processamento.

2. DESENVOLVIMENTOS E MÉTODOS.

Para o desenvolvimento foram definidas as variáveis que seriam coletadas no processo de formação do filme anódico para a determinação do valor da nova constante dielétrica para o processo de oxidação.

ADEQUAÇÃO DA CONSTANTE DIELÉTRICA DOS BANHOS DE ANODIZAÇÃO – MODELAGEM PARA ADEQUAÇÃO DA CONSTANTE DIELÉTRICA DA EQUAÇÃO MATEMÁTICA QUE REPRESENTA O PROCESSO DE ANODIZAÇÃO ÀS CONDIÇÕES REAIS DO PROCESSO DE PRODUÇÃO DE FILME ANÓDICO DA CBA⁽¹⁾

As variáveis utilizadas foram os parâmetros que compõem a equação para cálculo do tempo:

- Espessura da camada anódica.
- Tempo de processamento do produto.
- Densidade de corrente aplicada.

No sentido de garantir a confiabilidade nos dados coletados assegurou-se através de ferramenta de controles estatísticos de processo a estabilidade dos parâmetros químicos e térmico dos banhos de anodização dentro dos limites de engenharia especificados. A estabilidade do processo químico possibilitou que a influência desses parâmetros não fossem relevantes para os dados coletados, já que o controle e a consequente não variação fora dos níveis estabelecidos descreviam uma condição de processo constante.

Os dados foram coletados para a seguinte condição de processo:

- Concentração de ácido sulfúrico do banho de oxidação na faixa de 180 a 200g/l.
- Concentração de íons alumínio dissolvido no banho de oxidação de 10 a 18g/l.
- Temperatura do processo de 20°C ±1.

Portanto, esses parâmetros termoquímicos nessa condição de processo foram considerados como constantes e sem influência nos resultados de tempo, espessura e densidades de correntes.

Realizou-se o planejamento para a coleta dos dados, variáveis de resposta, utilizando para isso os lotes de perfis de alumínio anodizados na condição de processo estabelecida. Resultados de espessura de camada, tempo de processamento e densidade de corrente elétrica foram coletados seguindo planejamento de coleta de dados para o processo de anodização.

Após a coleta dos dados, utilizando a equação que representa matematicamente o processo de anodização, o valor de K foi estimado para a condição termoquímica especificada para o processo. Dessa forma, foi possível obter o valor de K, e redefinir o seu valor na equação para aplicação operacional utilizando-a para calcular os tempos de processo de anodização.

Para a coleta de dados, utilizou-se como critério a coleta de dados em lotes de perfis de alumínio extrudados destinados a construção civil, com especificação de espessura de anodização na classe A13, variando de 11 a 15 µm.

ADEQUAÇÃO DA CONSTANTE DIELÉTRICA DOS BANHOS DE ANODIZAÇÃO – MODELAGEM PARA ADEQUAÇÃO DA CONSTANTE DIELÉTRICA DA EQUAÇÃO MATEMÁTICA QUE REPRESENTA O PROCESSO DE ANODIZAÇÃO ÀS CONDIÇÕES REAIS DO PROCESSO DE PRODUÇÃO DE FILME ANÓDICO DA CBA₍₁₎

3. RESULTADOS

A tabela 1 apresenta uma fração do universo dos dados coletados para densidade de corrente, tempo de processamento, e espessura de óxido de alumínio obtido nos lotes processados. Utilizando a equação matemática da anodização e esses dados coletados, foram calculados respectivamente os valores da constante dielétrica de proporcionalidade para cada batelada processada. Esses valores de K estão apresentados também na tabela 1.

Tabela 1 – fração do universo dos dados coletados do processo de oxidação e respectivos valores calculados de K.

Processo Oxidação			
D(A/dm ²)	t(min)	μ(microns)	K (microns/min.A/dm ²)
1,00	37	12,0	0,324
1,00	37	14,0	0,378
1,08	40	12,1	0,281
1,08	40	12,9	0,299
1,08	40	12,2	0,282
1,08	39	12,6	0,299
1,10	37	13,0	0,319
1,10	37	13,2	0,324
1,13	38	13,4	0,312
1,20	35	12,8	0,305
1,20	36	12,8	0,296
1,20	36	13,6	0,315
1,21	35	13,3	0,314
1,21	36	11,8	0,271
1,30	34	13,8	0,312
1,30	33	13,0	0,302
1,33	33	12,5	0,284
1,35	32	15,2	0,352
1,50	30	12,1	0,268
1,50	28	14,0	0,333
1,50	28	14,0	0,333
1,50	28	13,6	0,324
1,50	28	14,0	0,333
1,50	27	12,4	0,306
1,50	28	11,8	0,281
1,50	28	12,6	0,300
1,50	27	12,4	0,306
1,24	32	12,8	0,323
1,29	33	12,6	0,296
1,33	30	14,4	0,361
1,45	29	13,2	0,314
1,50	29	13,4	0,308
1,50	28	14,2	0,338
1,50	27	13,0	0,321
1,50	27	14,0	0,346
1,50	30	12,8	0,284
1,50	28	12,8	0,305

ADEQUAÇÃO DA CONSTANTE DIELÉTRICA DOS BANHOS DE ANODIZAÇÃO – MODELAGEM PARA ADEQUAÇÃO DA CONSTANTE DIELÉTRICA DA EQUAÇÃO MATEMÁTICA QUE REPRESENTA O PROCESSO DE ANODIZAÇÃO ÀS CONDIÇÕES REAIS DO PROCESSO DE PRODUÇÃO DE FILME ANÓDICO DA CBA(1)

Os valores calculados de K foram divididos em função dos tanques de processo de anodização existentes na CBA no total de quatro. Para cada tanque, dentro da mesma condição termoquímica estabelecida, obteve-se, portanto um valor de K, dado pela média aritmética dos valores individuais de K obtidos referentes aos lotes processados. Na figura 5 estão apresentados os valores de K obtidos para os tanques de anodização.

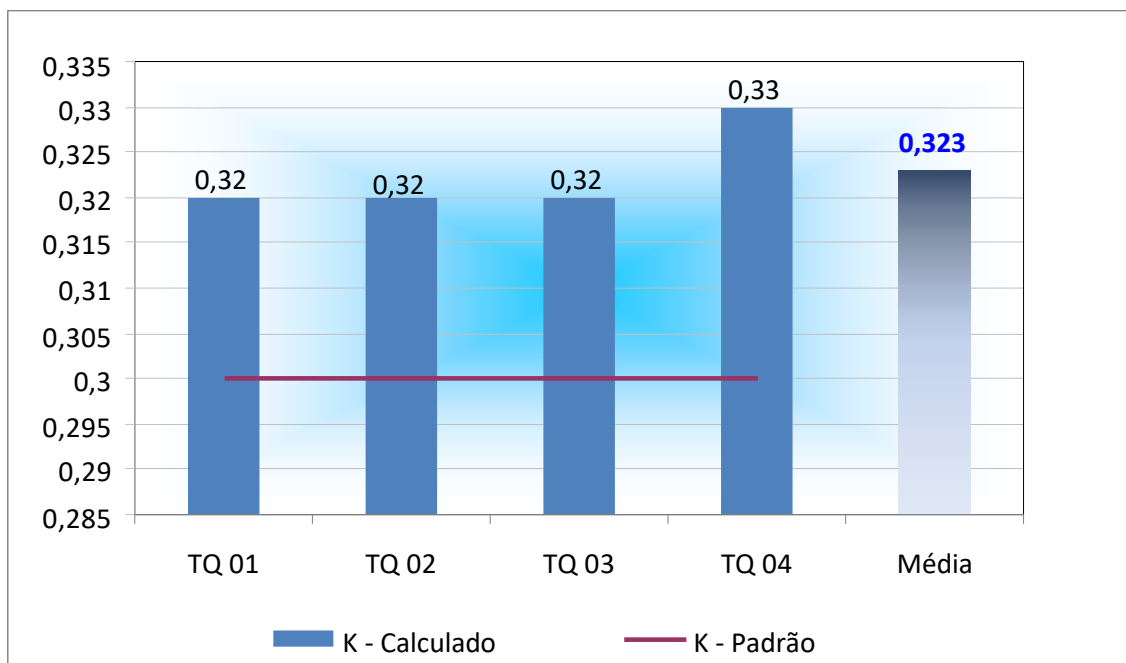


Figura 5: Valores de K obtidos para os tanques de anodização.

Em função dos tanques operarem sob a mesma condição termoquímica estipulada, e sendo os valores obtidos de K muito próximos, utilizou-se a média aritmética desses valores para estabelecer uma equação matemática única para os tanques de anodização.

$$t = \frac{\mu}{0,32 \cdot \rho}$$

onde K tem valor de 0,32.

Utilizando da equação matemática para o cálculo de tempo de processamento com valor de K igual a 0,32 estabeleceu-se o procedimento para operação de cálculo dos tempos de processamento para tanques de anodização.

ADEQUAÇÃO DA CONSTANTE DIELÉTRICA DOS BANHOS DE ANODIZAÇÃO – MODELAGEM PARA ADEQUAÇÃO DA CONSTANTE DIELÉTRICA DA EQUAÇÃO MATEMÁTICA QUE REPRESENTA O PROCESSO DE ANODIZAÇÃO ÀS CONDIÇÕES REAIS DO PROCESSO DE PRODUÇÃO DE FILME ANÓDICO DA CBA(1)

A Figura 6 apresenta como referência o acompanhamento evolutivo da média de espessura da classe A13, 11 a 15 μm , antes da mudança do valor de K.

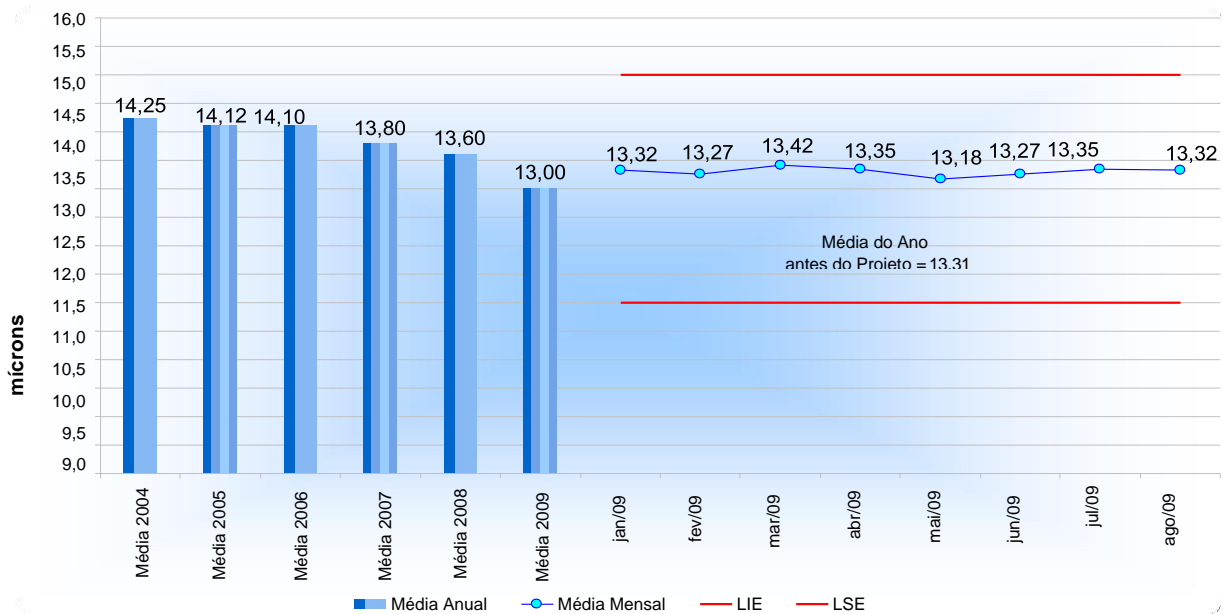
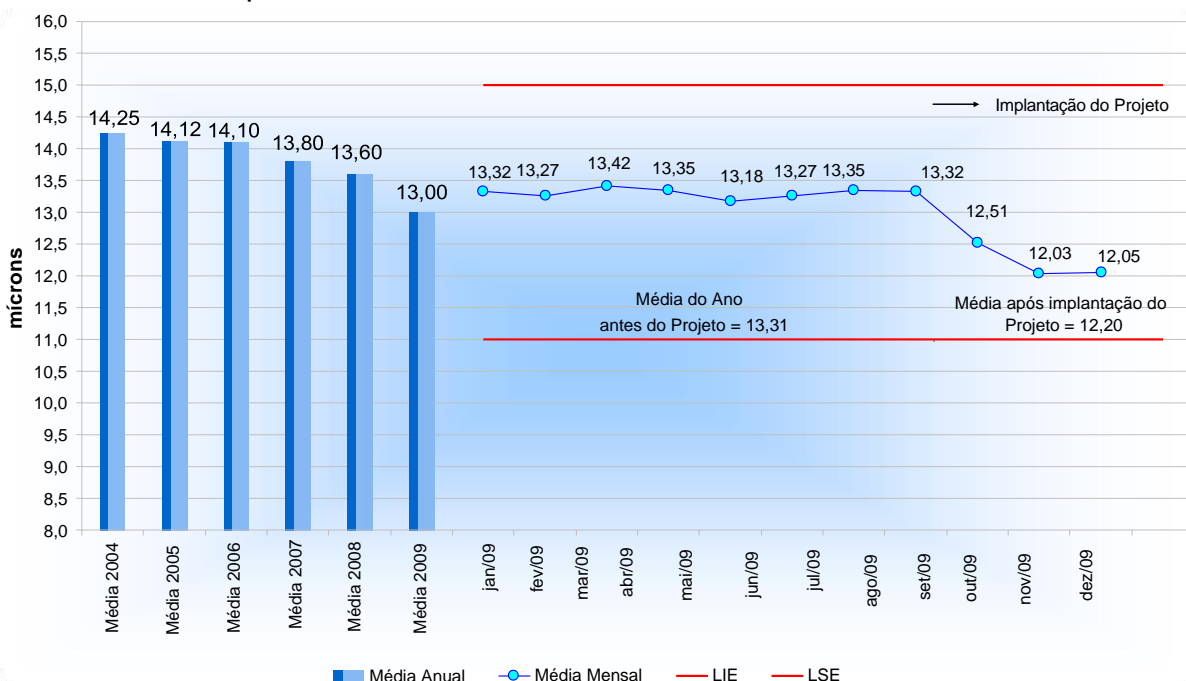


Figura 6: Espessuras médias da camada de óxido produzida na CBA com o valor de K padrão (0,30).

A figura 7 apresenta os resultados obtidos nos primeiros meses após a mudança do valor do K com especificação de espessura para 12 μm , dentro da faixa A13, 11 a 15 μm .



ADEQUAÇÃO DA CONSTANTE DIELÉTRICA DOS BANHOS DE ANODIZAÇÃO – MODELAGEM PARA ADEQUAÇÃO DA CONSTANTE DIELÉTRICA DA EQUAÇÃO MATEMÁTICA QUE REPRESENTA O PROCESSO DE ANODIZAÇÃO ÀS CONDIÇÕES REAIS DO PROCESSO DE PRODUÇÃO DE FILME ANÓDICO DA CBA⁽¹⁾

Figura 7: Espessuras médias da camada de óxido produzida na CBA com o novo valor de K (0,32).

A redução da espessura da camada de óxido atingida com a utilização do novo K foi de aproximadamente 9,5% comparando antes e depois da implementação. A diferença entre a espessura determinada para processamento, 12 μ , e a obtida com esse novo valor de K foi 1,66%, bem menor que os 10% de diferença anteriormente obtidos com a utilização do K igual a 0,30.

4. CONCLUSÕES.

A adequação da constante dielétrica de proporcionalidade da equação para cálculo do tempo possibilitou obter resultados de espessuras com uma diferença muito pequena das espessuras requeridas, aumentando a previsibilidade do processo de formação da camada de anodização. Outro ponto importante foi a possibilidade de redução da espessura mantendo-se dentro da faixa de especificação, já que o processo respondia com resultados muito mais confiáveis em relação aos esperados. Em função da redução de espessura obtida vieram os ganhos de redução de custos da produção. A redução da espessura proporcionou reduções de consumo de produtos químicos e insumos do processo trazendo ganhos financeiros com a adequação da constante. Somado a redução do consumo dos produtos químicos, vieram também ganhos ambientais devido a geração de efluentes líquidos menos concentrados destinados ao processo de tratamento de efluente.

Bibliografia.

- 1) **Guia técnico de alumínio: tratamento de superfície**; vol. 3. – 2.^a Ed. – São Paulo: ABAL – Associação Brasileira do Alumínio, 2005
- 2) Brace, Arthur W. **The technology of anodizing aluminium**; 3^a edition – Modena – Italy, 2000.

ADEQUAÇÃO DA CONSTANTE DIELÉTRICA DOS BANHOS DE ANODIZAÇÃO – MODELAGEM PARA ADEQUAÇÃO DA CONSTANTE DIELÉTRICA DA EQUAÇÃO MATEMÁTICA QUE REPRESENTA O PROCESSO DE ANODIZAÇÃO ÀS CONDIÇÕES REAIS DO PROCESSO DE PRODUÇÃO DE FILME ANÓDICO DA CBA⁽¹⁾

Modeling to adjust the dielectric constant of mathematical equation that represents the anodizing process in actual conditions of anodic film production in CBA⁽¹⁾

⁽²⁾João Inácio Gracioli Guimarães

⁽³⁾Julio César Rodelli

⁽⁴⁾Vinícius Barreira Vasconcelos

Abstract

The production process of anodic film on the surface of the aluminum, that giving properties under all of resistance to corrosion, is described by the mathematical model that establishes the relationship of physical processing time (t), the electrical current density (ρ) (relationship of current and surface area where the formation of the film) and desired thickness of the oxide film (μ). The literature provides a mathematical relationship where proportionality is measured through the dielectric constant (K) consider allowing the relationship

as follows, $t = \frac{\mu}{k \cdot \rho}$, which K has value of 0.30.

This work intended reassess the value of the dielectric constant (K) under actual conditions of the processing in the surface treatment Plant of CBA, and can thus better control the parameters of the process, mainly processing time (t). The result for K upon completion of the work, $K = 0.33$, allowed reduction of processing time bringing the productivity benefits of the plant as well as control of the thickness of Anodic film (μ).

Keywords: anodizing, dielectric constant, anodic film.

(1) IV International Congress of Aluminum - Call for Papers - Surface Treatment. 18, 19 e 20 May 2010 - Sao Paulo - Brazil.

(2) Engineering Consultant of C.B.A.–V.M., **(3)** Process Technical Expert of CBA –VM., **(4)** Process Engineer of CBA.–V.M.