

RELAMINAÇÃO A FRIO DE AÇOS DE BAIXO CARBONO

AUTORES:

Mozart de Castro França (1)
Radamanto Alves do Nascimento (2)
Paulo Cesar da Silva (3)
Luiz Barroso Loques (4)

R E S U M O

- - - - -

O trabalho visa a um estudo das características principais dos aços de baixo carbono para relaminação a frio, os quais são definidos pela especificação ABNT-EB-556, segundo os graus G1, G2, G3 e G4. O material é adquirido à Empresa sob a forma de bobinas a quente (BQ), decapadas e oleadas ou não, recortado em tiras mais estreitas e relaminado a frio, visando à obtenção de características especiais de dimensões, superfície e propriedades mecânicas.

Foi desenvolvido um sistema de amostragens para o estudo, compreendendo nove regiões da bobina, numa tentativa de se determinar as variações das propriedades mecânicas ao longo de seu comprimento e da largura.

Utilizou-se um laminador piloto FENN para a relaminação a frio dos nove blocos de amostras, simulando o trabalho do cliente da Empresa.

Foram levantadas curvas características em duas experiências e os resultados foram analisados sob diversos enfoques. Determinou-se também a variação destas propriedades ao longo do tempo e por isso foi realizado um estudo do envelhecimento acelerado e do envelhecimento natural destas amostras, acompanhando-se a evolução da dureza.

-
- (1) Membro da ABM, Engenheiro de Minas e Metalurgia, Consultor Tecnológico do Centro de Pesquisas da CSN.
- (2)(3) Membro da ABM, Engenheiro Industrial e Metalúrgico, Pesquisador do Centro de Pesquisas da CSN.
- (4) Auxiliar Técnico do Centro de Pesquisas da CSN.

1. INTRODUÇÃO

A Especificação ABNT/EB-556 (1) disciplina as relações fornecedor-cliente no que tange ao produto plano relaminado de aço de baixo teor de carbono. A matéria prima para este produto é normalmente adquirida às empresas siderúrgicas sob a forma de bobinas de aço laminadas a quente (BQ) com dimensões, composição química e acabamento de superfície bem definidos. O cliente relaminador corta as BQ em tiras estreitas, com a finalidade de atender aos requisitos dimensionais de seus compradores e processa essas tiras laminando-as a frio, procurando atender às exigências de superfície e acabamento, bem como de propriedades mecânicas, de um certo grau (G1, G2, G3 e G4) e classe (R, RL, L32, etc.) estabelecidas naquela Especificação. As influências deste processamento sobre o produto final relaminado a frio são estudadas no presente trabalho. Para isso foram selecionadas amostras retiradas de bobinas laminadas a quente e que atendessem às especificações químicas dos graus G3 e G2 em espessuras iniciais diferentes, respectivamente 1,90 e 2,25mm.

As amostras, retiradas do início (I), meio (M) e fim (F) de cada bobina, foram decapadas e oleadas antes da relaminação. Em cada uma destas amostras, que serão chamadas chapas, três regiões foram consideradas básicas, a saber: borda (L), região intermediária (D) e centro (C). Essas três regiões traduzem o processamento comum à maioria dos relaminadores, de cortar a bobina em tiras estreitas para posterior processamento (2). A figura 1 mostra o esquema de amostragem adotado. Na 1a. experiência não foram dadas as reduções a frio de 30 e 50%.

2. ANÁLISE QUÍMICA E CLASSIFICAÇÃO

Em cada região de uma determinada chapa foram retiradas amostras para análise química. Os resultados médios obtidos em cada chapa I, M e F e cada região L, D e C são mostrados nos gráficos das figuras 2 e 3.

De posse dos valores médios da análise, procedeu-se ao enquadramento do material dentro dos graus indicados nas tabelas II e III da Especificação ABNT/EB-556, pág 3 (1), respeitadas as variações permissíveis em cada caso. O aço da 1a. experiência pode ser classificado no grau G2 e o da 2a. no grau G3. Mesmo tratam-

do-se de aços efervescentes, sua homogeneidade química pode ser avaliada pelas figuras 2 e 3.

3. ANÁLISE METALOGRAFICA

Foram examinadas micrograficamente amostras retiradas das regiões L, D e C de cada chapa I, M e F. As chapas amostradas não apresentaram diferenças significativas em termos de inclusões, onde predominaram os sulfetos e os óxidos nos valores F3, G2 e F2, G1, respectivamente e em ambas as experiências. Detetou-se uma ligeira variação entre as regiões L, D e C das chapas quanto ao tamanho do grão, da ordem de 1 ponto (ASTM) na 1a. amostragem e 0.5 ponto (ASTM) na 2a. experiência, conforme mostrado na figura 4. Ressalta-se nesta figura a uniformidade da granulação das bobinas amostradas.

4. ENSAIOS MECÂNICOS E PROPRIEDADES

4.1 REDUÇÃO A FRIO

Esta etapa foi realizada no laminador piloto FENN do Centro de Pesquisas da CSN e constou da redução, por laminações sucessivas a frio, das amostras indicadas na figura 1. Cada amostra L, D ou C recebeu um número de passes tal que permitisse classificá-las em um dos grupos de RF referidos anteriormente. Para a 1a. experiência foram arbitrados os valores 0, 5, 10, 20, 40 e 70% como reduções nominais a serem dadas no material. Já na 2a. experiência, tendo em vista os resultados alcançados na 1a., foram acrescentadas mais duas reduções a frio: 30 e 50%. Com este procedimento obteve-se uma maior continuidade dos pontos representativos da evolução dos valores das propriedades, função da redução a frio. A figura 5 mostra o laminador piloto utilizado nas experiências. Na figura 6 vê-se a sub-divisão de cada amostra em grupos de CP para os ensaios cujos resultados permitem o levantamento de valores das propriedades tratadas na Especificação ABNT-EB-556.

4.2 ENSAIO DE TRAÇÃO

Na 1a. experiência foram ensaiados 2 CP's de tração por posição (L, D, C) e por chapa (I, M, F) em cada uma das 6 reduções a frio dadas ao material, totalizando 108 ensaios nesta fase. Na 2a. experiência o procedimento foi idêntico ao anterior, com o au

mento do número de reduções, de 6 para 8, o que fez crescer o número de ensaios para 144.

Em ambas as experiências procurou-se determinar os valores das seguintes propriedades:

- limite de escoamento (LE)
- limite de resistência (LR)
- alongamento total (A1)
- coeficiente de encruamento (n)
- alongamento uniforme (eu)

Os resultados da primeira fase foram estudados contra a redução a frio, inicialmente plotando-se LE x RF, conforme mostra a figura 7. Observou-se que a curva de variação é sensivelmente parabólica. Cada ponto do gráfico representa a média de 18 valores; os bastões verticais representam o desvio padrão destes resultados, em cada redução a frio. Uma regressão estatística mostrou um coeficiente R^2 de 98,33% para a seguinte equação de 2º grau ajustada aos pontos médios:

$$LE_1 = 280,515 + 8,539(\%RF) - 0,045(\%RF)^2$$

Esta equação fornece valores de LR com erro máximo de $\pm 19N/mm^2$, aproximadamente.

Na segunda fase foram plotados os 144 resultados de LE x %RF, obtendo-se uma curva de mesma natureza da anterior, mostrada na figura 8. A regressão polinomial destes valores médios ajustou uma equação parabólica com um coeficiente R^2 de 98,97% e com os seguintes parâmetros:

$$LE_2 = 271,516 + 10,031(\%RF) - 0,065(\%RF)^2$$

O erro máximo nesta equação é da ordem de $\pm 11N/mm^2$.

Ao estudo do LE seguiu-se a análise do comportamento do LR das amostras, em função do percentual de trabalho a frio. Os gráficos representativos do fenômeno são mostrados nas figuras 9 e 10, respectivamente 1a. e 2a. experiências. Deu-se aos pontos do LR o mesmo tratamento estatístico do LE. Apesar da variação quase linear do LR com a %RF, preferiu-se ajustar uma equação do 2º grau aos pontos plotados, já que a inclinação da curva terá, forçosamente, que diminuir à medida que se aumentar a redução a frio imposta ao material. Mesmo assim, entre os limites em que são normalmente fabricados os relaminados a frio, cujas reduções raramente ultrapassam 50% (2), a curva pode ser tomada como uma reta,

sem o perigo de incorrer em erro significativo, atentando-se para as faixas de variação permitidas pela Especificação. Ressalvados esses aspectos, as equações de regressão obtidas para a 1.a e 2a. experiências foram, respectivamente, as seguintes:

$$\begin{aligned} LR_1 &= 345,452 + 4,815(\%RF) - 0,002(\%RF)^2 \\ LR_2 &= 356,892 + 5,737(\%RF) - 0,013(\%RF)^2 \end{aligned}$$

Estas equações apresentaram seus respectivos coeficientes de correlação (R^2) de 99,88% e 99,76%. Ambas as equações trabalham com um erro máximo da ordem de $\pm 3\%$.

Para reduções a frio até 40%, inclusive, os coeficientes de correlação são 99,7% e 99,6% para a 1a. e 2a. experiências, respectivamente, sendo as equações correspondentes, as seguintes:

$$\begin{aligned} LR_1^* &= 345,022 + 4,804(\%RF) \\ LR_2^* &= 358,325 + 5,297(\%RF) \end{aligned}$$

As 2 equações de correlação simples acima, fornecem resultados com erro da ordem de $\pm 2\%$, perfeitamente aceitável dentro das faixas de variação previstas na Especificação ABNT/EB-556.

Ainda através do ensaio de tração, foi estudada a variação do alongamento percentual convencional em função da redução a frio dada ao material.

As figuras 11 e 12 mostram a variação do alongamento convencional; cada par de gráficos representa uma experiência. À esquerda está mostrada a evolução hiperbólica do alongamento dentro do intervalo 0-70% e à direita uma correlação linear dos logaritmos das grandezas. Na pesquisa dos parâmetros da equação de regressão optou-se pela "linearização" da hipérbole através dos logaritmos das grandezas. Obviamente os pontos com 0%RF não foram considerados no cálculo da equação linear. Eles foram colocados no gráfico apenas para limitar a curva à esquerda. As equações a baixo são aquelas representativas do comportamento do A1. Elas se ajustam ao fenômeno com $R^2 = 99,25\%$ na 1a. experiência e $R^2 = \dots 95,10\%$ na 2a.

$$\begin{aligned} \log A1_1 &= -0,8851\log\%RF + 2,149 \\ \log A1_2 &= -0,9721\log\%RF + 2,386 \end{aligned}$$

O erro dos valores calculados nestas equações passa por um mínimo aos 20% RF e cresce para maiores reduções. No entanto, os valores em questão, atendem plenamente aos especificados.

Os valores do coeficiente de encruamento (n) e do alongamento uniforme (ϵ_u) decrescem com o incremento da redução a frio. Para o grau G2/ $e=2,25$ mm os coeficientes sã foram definidos até 5%RF, nominal. No grau G3/ $e=1,90$ mm a definição ocorreu até 10%RF, nominal. A figura 13 mostra o decrêscimo dos valores de n e ϵ_u com o aumento da redução a frio.

4.3 ENSAIO DE DOBRAMENTO

Foi efetuado em todas as amostras a esse fim destinadas tanto a 90° quanto a 180°. Esse procedimento, muito além do necessário, foi adotado para melhor conhecimento do material.

Os resultados alcançados pelo material foram excelentes, sendo que todas as amostras ensaiadas passaram no teste, mesmo aquelas que a norma não garante qualquer dobramento, devido às condições em que o mesmo se encontra, altamente encruado pelas grandes reduções a frio sofridas.

4.4 DESEMPENHO QUANTO AO ENVELHECIMENTO ACELERADO E NATURAL

O ensaio de dureza ROCKWELL B foi feito com dupla finalidade: verificar se o material atende aos valores especificados e acompanhar a evolução do envelhecimento do material, tanto o causado por precipitação como o envelhecimento dinâmico.

Numa primeira fase cortou-se convenientemente a tira a esse fim destinada - figura 6 - em 36 CP's de 2 x 4cm. A metade dos CP's foi destinada ao envelhecimento acelerado e, os outros 18, ao natural. Em todos os CP's foram feitas 5 medições de dureza antes e 5 após o tratamento.

O envelhecimento acelerado da 1a. experiência foi realizado a 100°C, nos tempos 5, 10, 20, 45, 90 e 180 minutos.

Jã na 2a. experiência, em virtude de algumas modificações introduzidas no tratamento, o número de corpos de prova passou para 30 por chapa e por redução a frio, 15 para o tratamento acelerado e 15 para o natural. A amostragem e o número de medidas não foram alterados.

O tratamento constou de aquecimento a 75°C e permanência nesta temperatura durante os seguintes tempos: 1, 6, 9, 12 e 24 horas. Esta modificação foi efetuada para que se pudesse comparar o estudo com outros realizados em usinas do exterior (3).

Nesta fase utilizou-se a escala ROCKWELL B para amostras até 50%, exclusive. A partir deste valor, em virtude da espessu-

ra das amostras, optou-se pelo ensaio de dureza ROCKWELL SUPERFICIAL 45T e 30T, transformando-se os valores a seguir para a escala HRB, conforme preconiza a Especificação ABNT/EB-556.

Será analisado, a seguir, o comportamento da dureza ROCKWELL B, em função da redução a frio e do tempo de tratamento.

A figura 14 refere-se à 1ª. experiência realizada. Os tempos de tratamento aparecem em minutos e a temperatura foi de 100°C. Cada ponto do gráfico representa uma média de 45 medidas. A dureza cresce velozmente até o entorno de 10%RF, a partir de quando passa a ter um crescimento mais lento. Este fato evidencia uma mudança de comportamento provocada por uma alteração estrutural.

A figura 15 mostra resultados da 2ª. experiência, a qual teve os tempos e a temperatura de tratamento alterados para horas e 75°C, respectivamente. Nesse caso, a região de grande inclinação das curvas vai até o entorno de 5%RF. Observa-se também uma modificação de comportamento na região dos 40%RF. Este aspecto será abordado posteriormente.

A figura 16 mostra a variação da diferença entre as durezas medidas antes e depois do tratamento efetuado nas primeiras chapas. Cada ponto representa a média de 45 diferenças. Os valores máximos das curvas situam-se no entorno de 10%RF. Elas traduzem uma similaridade de comportamento nos diversos tempos de tratamento.

A figura 17 mostra a evolução das diferenças de dureza em tratamento acelerado levado a efeito sobre as amostras da 2ª. experiência. Em relação à 1ª. experiência, nota-se que o pico de máxima diferença sofreu um deslocamento para o entorno dos 5%RF. Foram observadas também mudanças ocorridas a 40-50%RF, onde a estrutura do material parece ter sofrido nova alteração. As curvas correspondentes aos tempos de 1 e 6 horas de tratamento, após uma queda até os 40%RF, elevam-se novamente até os 70%RF. Essa elevação atenua-se na curva de 6 horas e desaparece nas subsequentes, chegando a manter a tendência geral de queda após o valor máximo.

Abordar-se-á a seguir os aspectos da evolução da dureza em tratamento efetuado na temperatura ambiente, durante 6 meses.

A figura 18 mostra o comportamento da dureza absoluta em períodos de tempo de 5, 10, 30, 60, 90 e 180 dias. As curvas apresentam uma similaridade bastante acentuada. Ocorrem crescimentos maiores da dureza durante as primeiras reduções e um crescimen

to bastante lento, com tendências à estabilização, nas grandes reduções a frio. Na 1a. experiência notou-se que, a partir de 40%RF e após os 60 dias as curvas mostraram uma tendência à queda nos valores absolutos de dureza.

Na figura 19, relativa à 2a. experiência, as duas primeiras curvas apresentam também um crescimento contínuo e, as seguintes, uma tendência forte de estabilidade para as grandes reduções. Em todos os outros aspectos elas são semelhantes às anteriormente descritas.

Observou-se, na figura 20, as curvas de variação da diferença de dureza antes e após o tratamento natural, nas amostras da 1a. experiência. O comportamento das amostras nas primeiras reduções é similar àquele do tratamento acelerado. Após a redução de 40%, a diferença cresce a valores até mais elevados do que os alcançados no pico dos 10%RF.

A figura 21, diferenças de dureza no tratamento natural das amostras da 2a. experiência, mostra um comportamento inicialmente similar ao anterior. Após a região 40-50%RF as curvas infletem para baixo chegando a atingir valores negativos.

A tendência ao aparecimento de um máximo nas curvas de envelhecimento, função da deformação a frio, já fora observada por Rashid (4), em pré-deformações por tração, para aços ao C e ARBL. Na maioria dos casos o máximo situou-se em torno de 2% de pré-deformação.

Esse comportamento está sendo estudado atualmente.

O endurecimento por precipitação e o envelhecimento por deformação dos aços são processos ativados termicamente. Para uma mesma intensidade de envelhecimento os tempos (t) e as temperaturas (T) ligam-se através de uma relação da forma

$$t = A.e^{-Q/RT}$$

onde A é uma constante do sistema, Q é a energia de ativação e R a constante dos gases perfeitos.

Nas experiências efetuadas pode-se considerar que, para 0% de deformação, apenas há endurecimento por precipitação, cujo principal responsável é o C. Para o material laminado a frio os dois processos de envelhecimento atuam simultaneamente, através da difusão de C e N e formação de precipitados e atmosferas de Cottrell.

Os valores obtidos por Wert (5) para as energias de ativação do C e N, em difusão no Fe, foram 20.100 cal/mol e 18.600 cal/mol

respectivamente.

As equações de Hundy (6) ligando tempos (t) e temperaturas (T) referentes a um mesmo envelhecimento por deformação que aquele obtido na temperatura ambiente (T_a) durante um tempo (t_a) foram deduzidas considerando os valores de 20.100cal/mol e 18.200cal/mol para as energias de ativação do C e N, respectivamente, em difusão intersticial no Fe.

Baird (7) encontrou valores da energia de ativação na faixa de 18.000 a 20.000cal/mol, no estudo do "strain aging" de aços de baixo C.

As curvas de envelhecimento relativas a 0% e 5% de redução a frio, figura 22, foram utilizadas para a determinação da energia de ativação no envelhecimento observado. Os valores médios obtidos situaram-se entre 20.000 e 25.000 cal/mol. Esses resultados estão ligeiramente acima dos referidos na literatura. A explicação para isso deve encontrar-se na grandeza utilizada no estudo (dureza) e na relativamente estreita faixa de temperaturas dos testes. Na continuação do trabalho esse ponto será desenvolvido em maior profundidade.

5. COMENTÁRIOS FINAIS E CONCLUSÕES

Um estudo mais aprofundado dos fenômenos de envelhecimento dos aços destinados à relaminação a frio está desenvolvido. Ele compreende novos ensaios mecânicos e térmicos e métodos de investigação apropriados. Procurar-se-á, dessa forma, explicar teoricamente o comportamento observado.

Os resultados obtidos experimentalmente permitem apresentar as conclusões principais seguintes:

1. Os aços estudados atendem perfeitamente às exigências dos graus G2 e G3 da Especificação ABNT/EB-556; as variações de composição química não ultrapassam as tolerâncias permissíveis;
2. As propriedades mecânicas das diferentes classes podem ser atendidas processando-se adequadamente o material;
3. Uma amostragem conveniente - meio da bobina, região intermediária entre a borda e o centro da chapa - seria suficiente para o estudo das características do produto;
4. Pequenas reduções a frio, de 5 a 10%, tornam o aço mais susceptível ao envelhecimento do que o mesmo material não defor-

mado ou fortemente laminado a frio.

B I B L I O G R A F I A

1. Especificação ABNT/EB-556 - Produtos Planos Relaminados de Aço de Baixo Teor de Carbono.
2. Nascimento, R.A. e Loques, L.B. - Relatório de Visita a Clientes - Julho, 1978.
3. Alves, S.S. - Relatório de Viagem ao Exterior - Fev. 1973.
4. Rashid, M.S. - Strain - Aging of Vanadium, Niobium or Titanium - Strengthened High - Strength Low - Alloy Steel - Metallurgical Transactions, Junho, 1975.
5. Wert, C.A. - Behaviour of Interstitial Carbon and Nitrogen in Iron - Physical Metallurgy of Deep Drawing Steel.
6. Hundy, B.B. - Accelerated Strain Aging of Mild Steel - Journal of the Iron and Steel Institute, Set, 1954.
7. Baird, J.D. - Strain Aging of Steel - A Critical Review, Part I - Practical Aspects - Iron and Steel, Maio 1963.

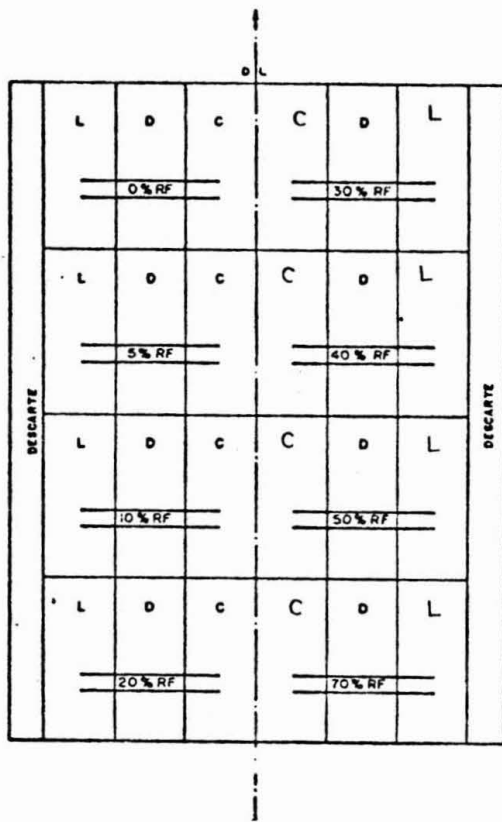
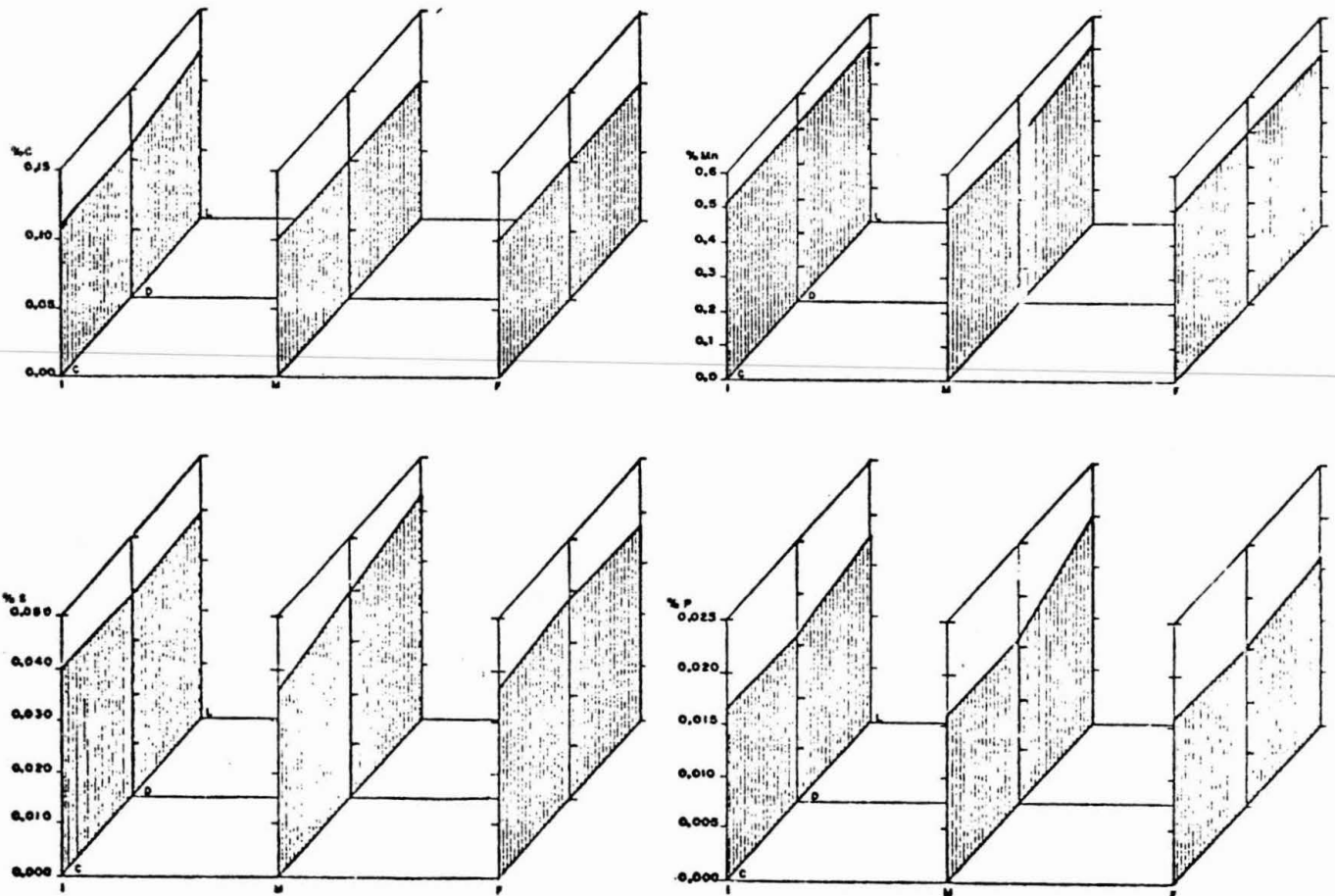


FIGURA 1 - REGIÕES DE AMOSTRAGEM DE CADA CHAPA E SUAS REDUÇÕES A FRIO.

FIGURA 2 - COMPOSIÇÃO QUÍMICA MÉDIA DAS AMOSTRAS DA 1ª EXPERIÊNCIA.



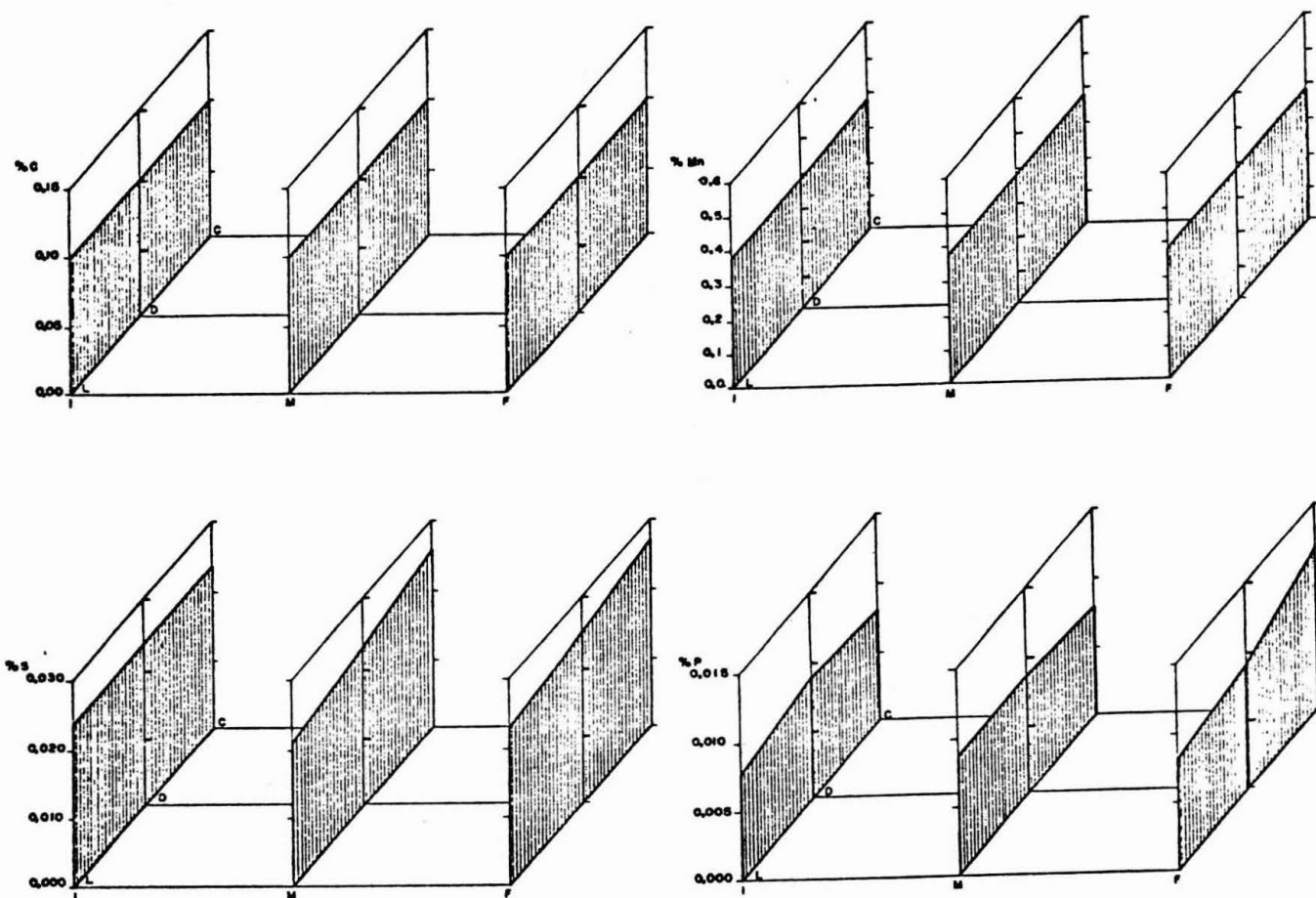


FIGURA 3 - COMPOSIÇÃO QUÍMICA MÉDIA DAS AMOSTRAS DA 2a. EXPERIÊNCIA.

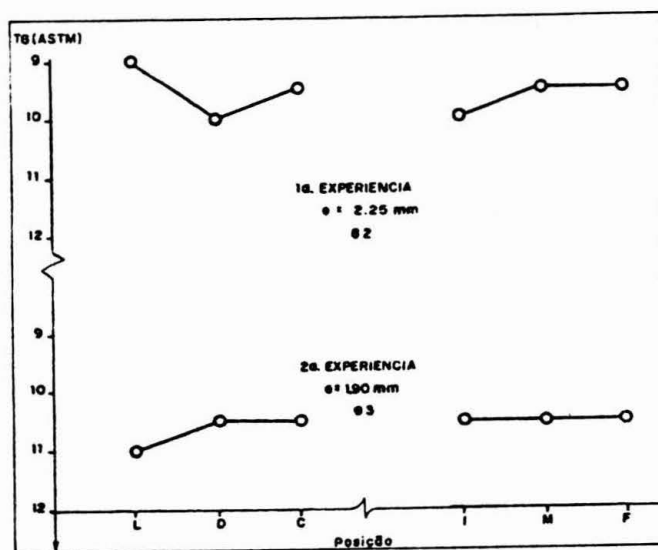


FIGURA 4 - VARIACÃO DO TAMANHO DO GRÃO FERRÍTICO (ASTM) EM FUNÇÃO DA POSIÇÃO DE AMOSTRAGEM.

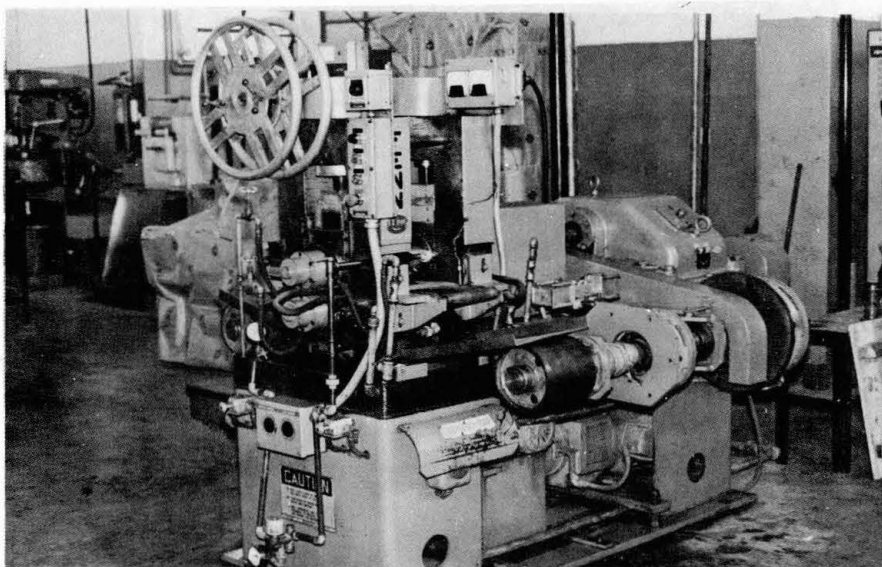


FIGURA 5 - VISTA DO LAMINADOR PILOTO FENN DO CENTRO DE PESQUISAS DA CSN.

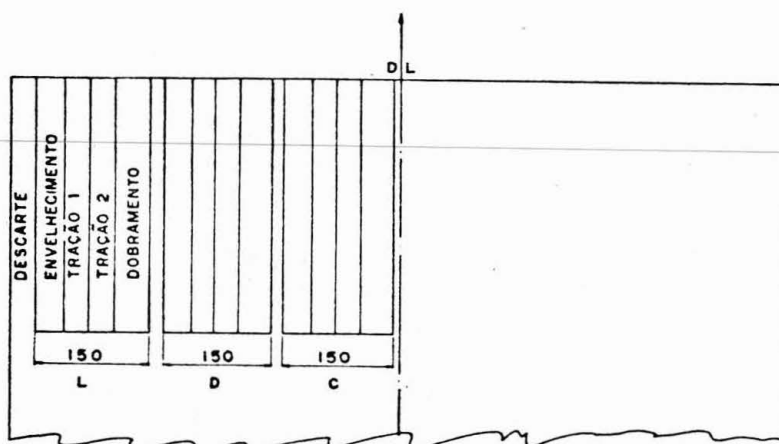


FIGURA 6 - POSIÇÃO DOS CORPOS DE PROVA NAS AMOSTRAS LAMINADAS A FRIO.

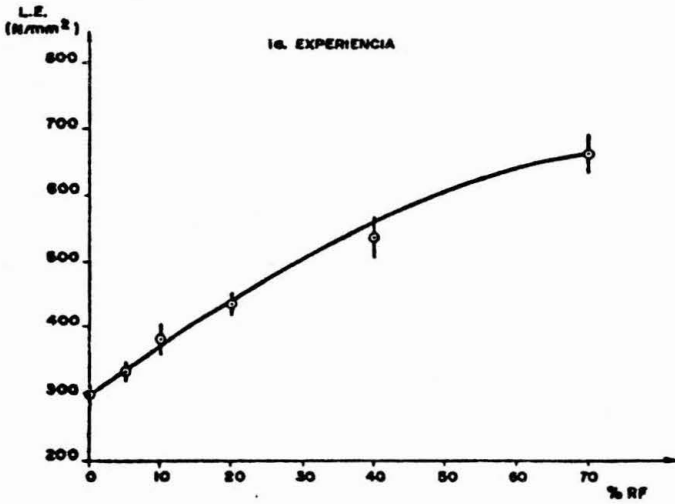


FIGURA 7 - VARIAÇÃO DO LE COM A %RF NAS AMOSTRAS DA 1a. EXPERIÊNCIA.

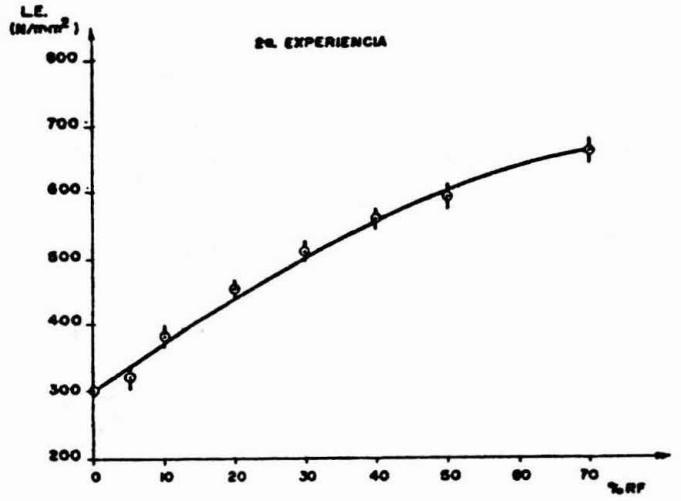


FIGURA 8 - VARIAÇÃO DO LE COM A %RF NAS AMOSTRAS DA 2a. EXPERIÊNCIA.

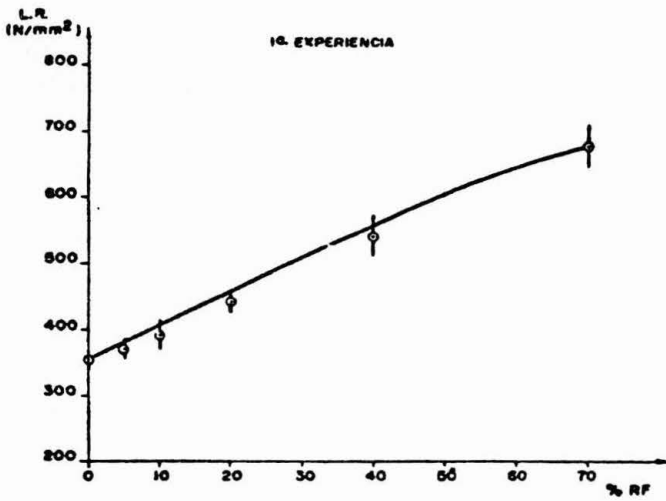


FIGURA 9 - VARIAÇÃO DO LR COM A %RF NAS AMOSTRAS DA 1a. EXPERIÊNCIA.

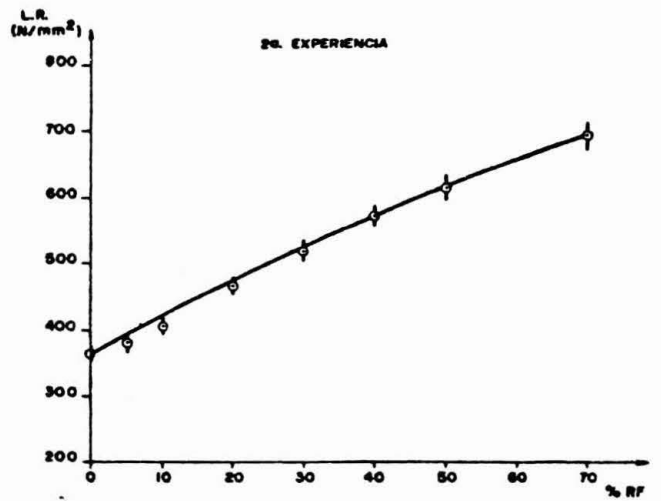


FIGURA 10 - VARIAÇÃO DO LR COM A %RF NAS AMOSTRAS DA 2a. EXPERIÊNCIA.

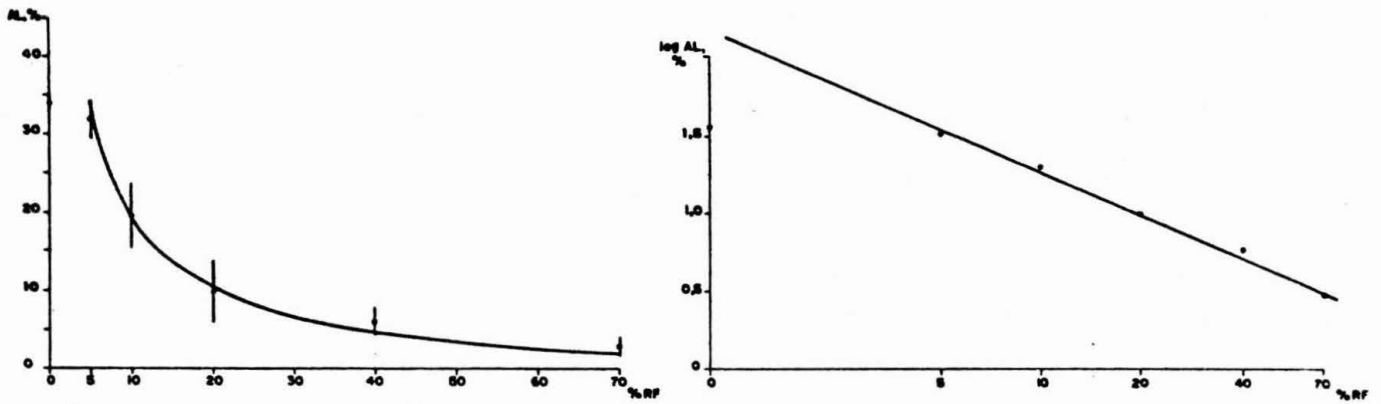


FIGURA 11 - VARIAÇÃO DO ALONGAMENTO CONVENCIONAL COM A %RF EM AMOSTRAS DA 1a. EXPERIÊNCIA.

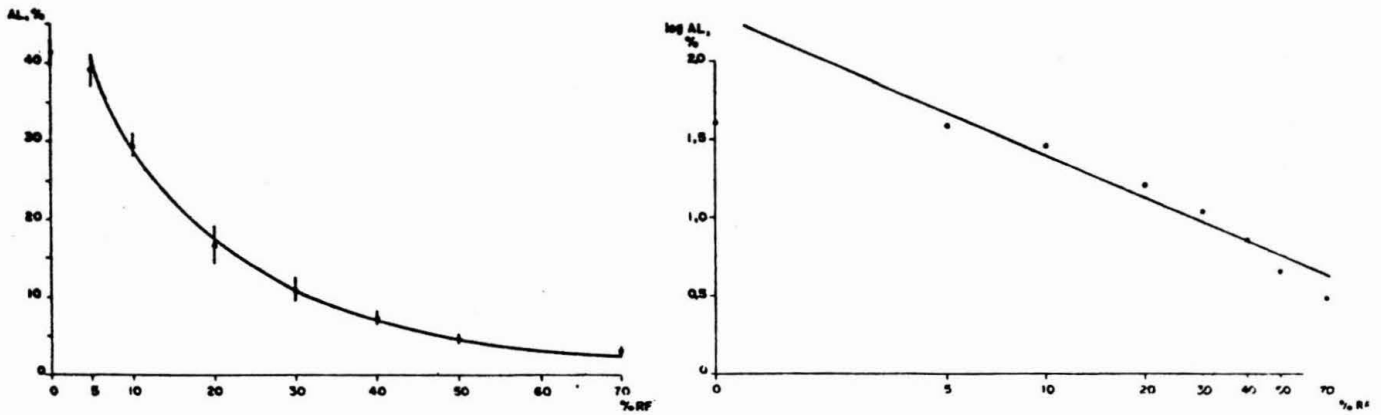


FIGURA 12 - VARIAÇÃO DO ALONGAMENTO CONVENCIONAL COM A %RF EM AMOSTRAS DA 2a. EXPERIÊNCIA.

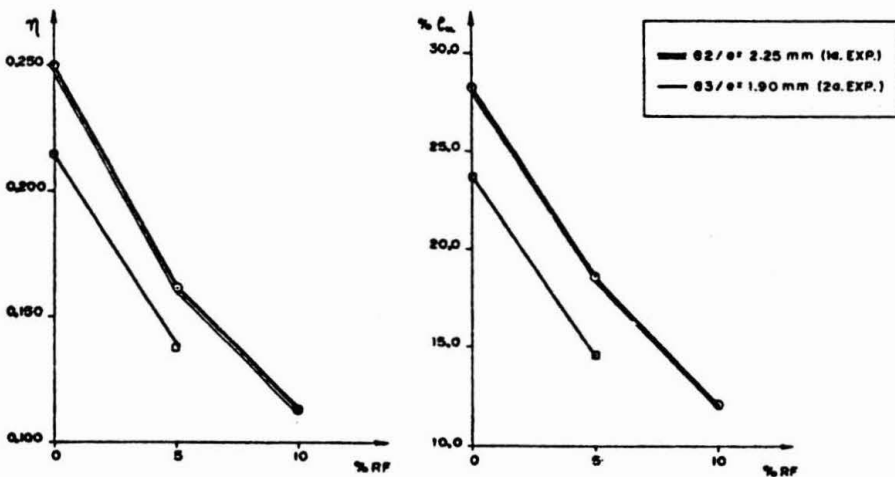


FIGURA 13 - VARIAÇÃO DE η e ϵ COM A REDUÇÃO A FRIO.

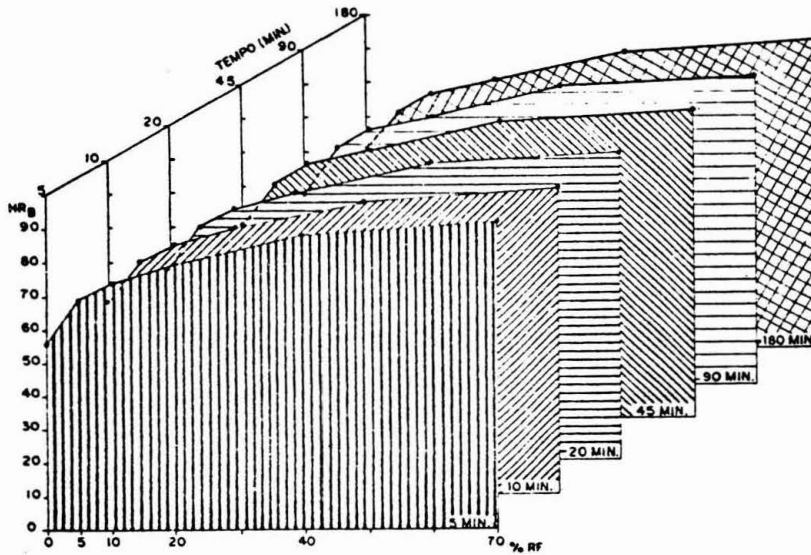


FIGURA 14 - CURVAS DE VARIAÇÃO DA D_u REZA COM $\% RF$ APÓS O TEMPO DE TRATAMENTO A 100°C, NAS AMOSTRAS DA 1a. EXPERIÊNCIA.

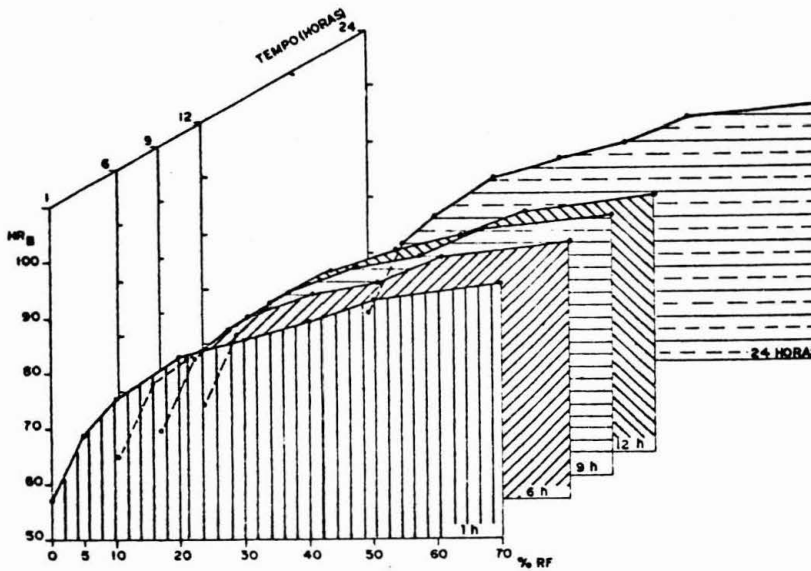


FIGURA 15 - CURVAS DE VARIAÇÃO DA D_u REZA COM $\% RF$ APÓS O TEMPO DE TRATAMENTO A 75°C, NA 2a. EXPERIÊNCIA.

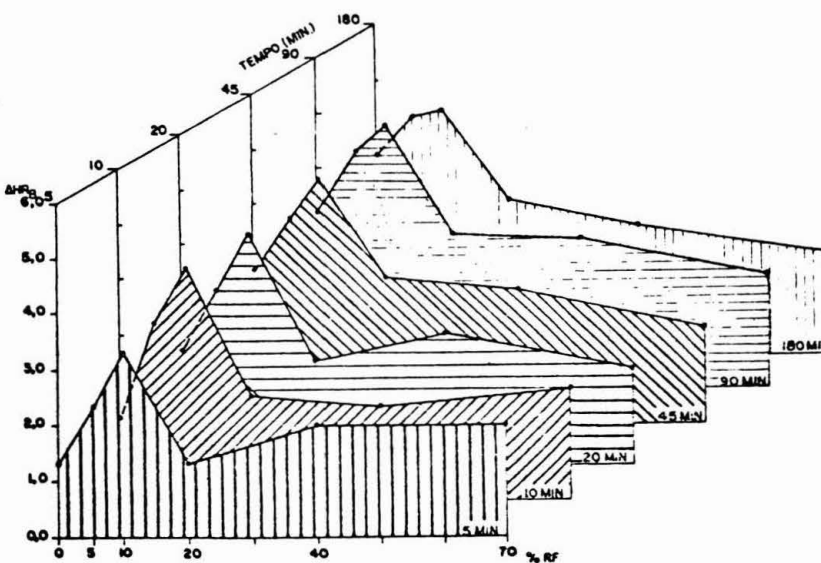


FIGURA 16 - CURVAS DE VARIAÇÃO DA D_t FERENÇA DE D_u REZA NAS AMOSTRAS TRÁS DA 1a. EXPERIÊNCIA NO TRATAMENTO ACELERADO.

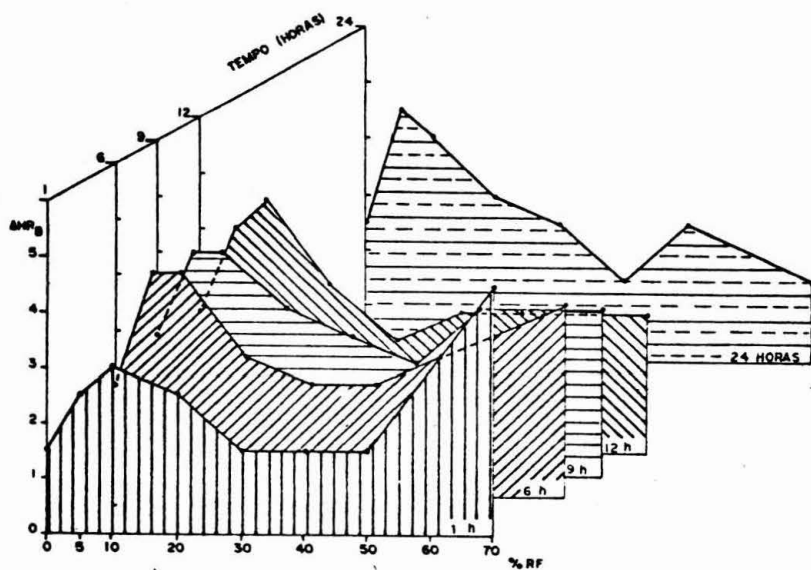


FIGURA 17 - CURVAS DE VARI-
AÇÃO DA DIFEREN-
ÇA DE DUREZA NAS
AMOSTRAS DA 2a.
EXPERIÊNCIA NO
TRATAMENTO ACE-
LERADO.

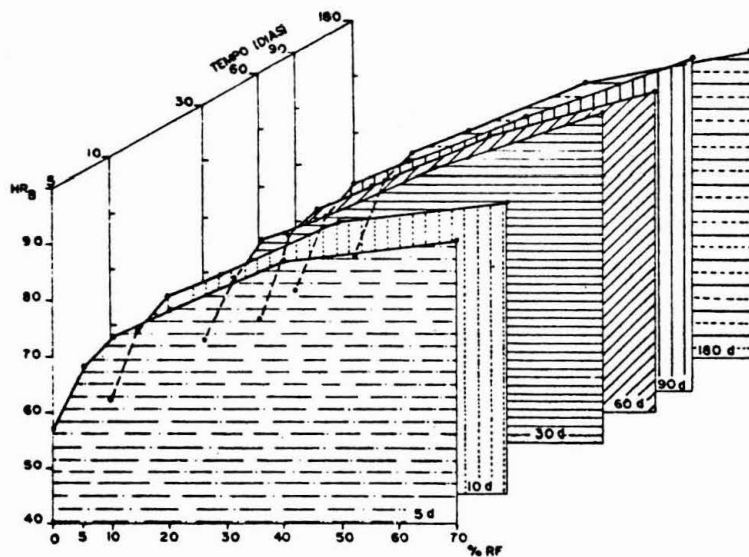


FIGURA 18 - CURVAS DE VARI-
AÇÃO DA DUREZA
COM %RF APÓS O
TRATAMENTO NATU-
RAL NAS AMOS-
TRAS DA 1a. EX-
PERIÊNCIA.

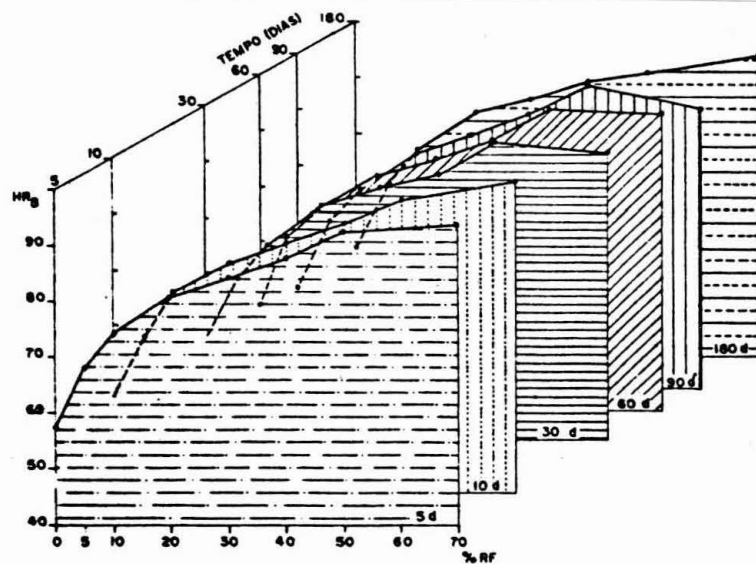


FIGURA 19 - CURVAS DE VARI-
AÇÃO DA DUREZA
COM %RF APÓS O
TRATAMENTO NATU-
RAL NAS AMOS-
TRAS DA 2a. EX-
PERIÊNCIA.

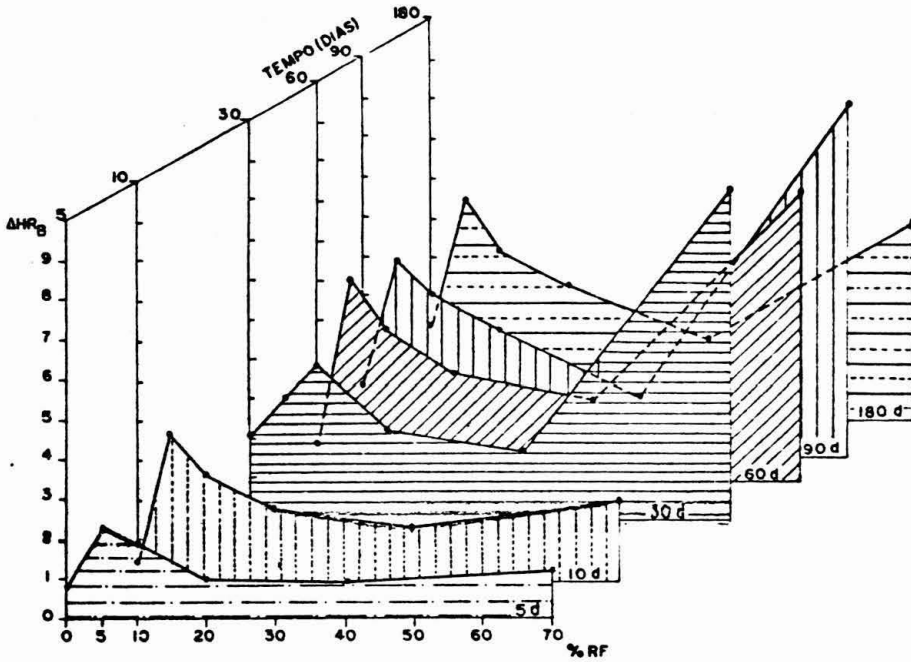


FIGURA 20 - CURVAS DE VARIAÇÃO DA DIFERENÇA DE DUREZA ANTES E APÓS O TRATAMENTO NATURAL, NA 1a. EXPERIÊNCIA.

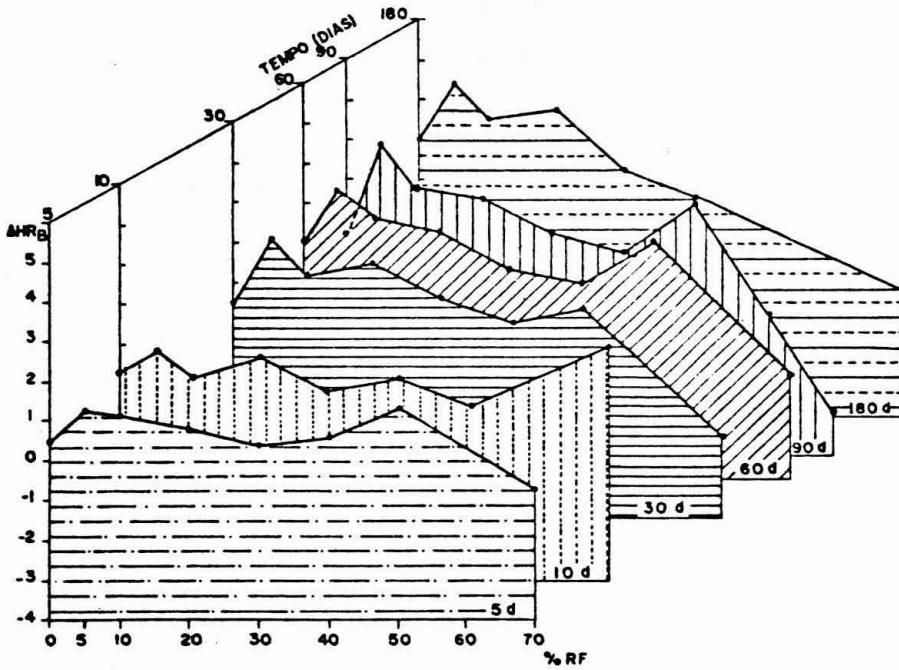
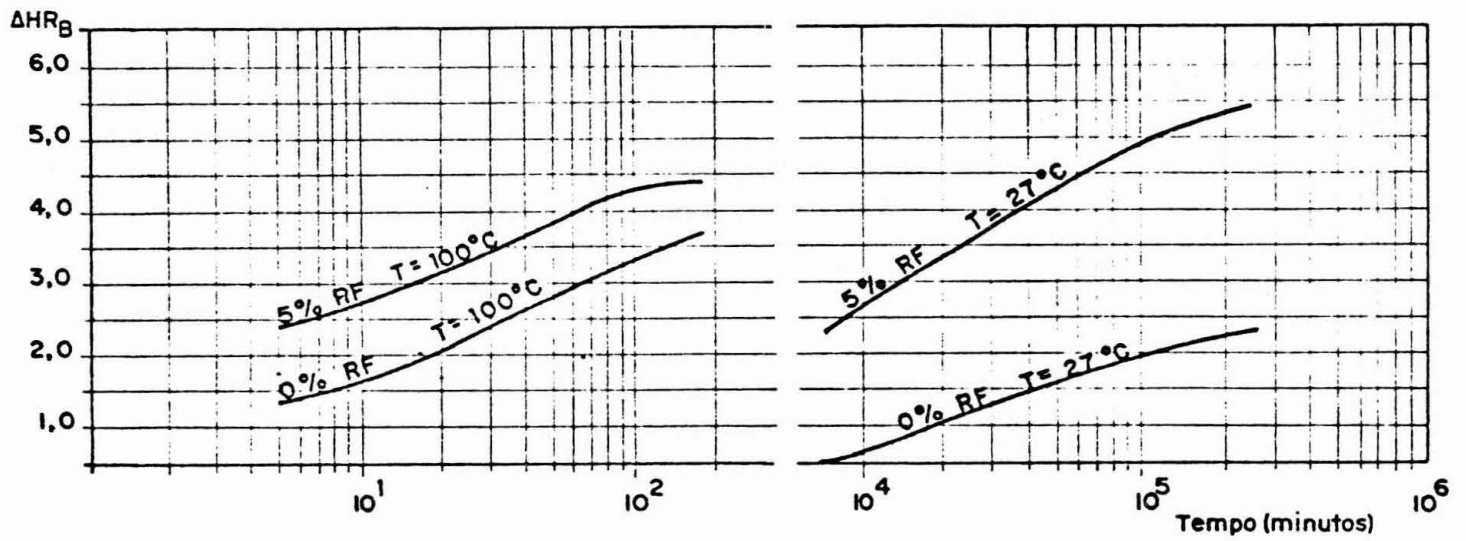


FIGURA 21 - CURVAS DE VARIAÇÃO DA DIFERENÇA DE DUREZA ANTES E APÓS O TRATAMENTO NATURAL NA 2a. EXPERIÊNCIA.

1a. EXPERIÊNCIA



2a. EXPERIÊNCIA

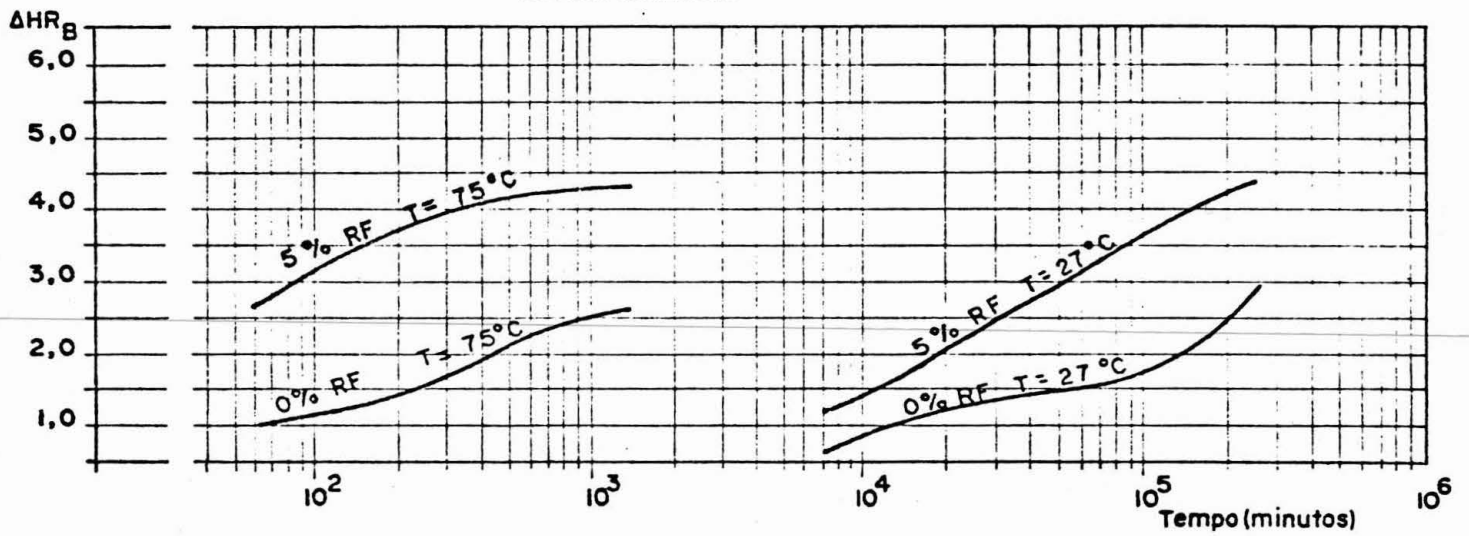


FIGURA 22 - VARIAÇÃO DA DIFERENÇA DE DUREZA COM O TEMPO DE TRATAMENTO.

