

CONDIÇÕES DE RESFRIAMENTO E O DEFEITO COR DE REVENIDO⁽¹⁾

Fabiano José Fabri Miranda⁽²⁾
Eduardo Côrtes Sarmiento⁽²⁾
José Geraldo de Sousa⁽³⁾

R E S U M O

No processo de recozimento em caixa, as bobinas estão sujeitas a apresentar um defeito conhecido como cor de revenido ("temper color"). Foram realizados levantamentos estatísticos dos vários parâmetros de recozimento tendo-se sempre como base a ocorrência do defeito. Utilizou-se um programa de computador para a correlação das variáveis do processo de recozimento com diferentes níveis do defeito. Foram obtidas equações que podem ser aplicadas tanto para controle do resfriamento como para modelos de carregamento.

-
- (1) - Trabalho a ser apresentado no Seminário sobre "Laminação de Produtos Planos e Não Planos" - 28 a 30 de Setembro de 1983 - Volta Redonda - R.J.
- (2) - Membro da ABM - Engenheiro Metalúrgico da Unidade de Pesquisa de Processos de Conformação do Centro de Pesquisas da USIMINAS; Ipatinga, MG.
- (3) - Membro da ABM - Engenheiro Químico da Unidade de Pesquisa de Processos de Conformação do Centro de Pesquisas da USIMINAS; Ipatinga, MG.

1. INTRODUÇÃO

Bobinas laminadas a frio quando submetidas ao processo de recozimento em caixa estão sujeitas a apresentar um defeito de qualidade superficial, denominado "cor de revenido" ("temper color"). Este defeito, dependendo de sua intensidade (cor: de amarelo a azul), pode levar à desclassificação do material para uma determinada aplicação. Como por exemplo, fosfatização e pintura.

O defeito "cor de revenido" origina-se logo após a retirada do abafador e está relacionado principalmente com a temperatura da bobina no final do resfriamento, a atmosfera do meio ambiente e à composição química do aço.

No presente estudo procurou-se verificar basicamente a influência da temperatura das bobinas, quando da retirada do abafador, sobre a ocorrência de "cor de revenido". Com este objetivo foram estudados os parâmetros que controlam a temperatura das bobinas no final do resfriamento.

Desta forma, realizou-se um levantamento de dados sobre a ocorrência de "cor de revenido" em bobinas laminadas a frio (BF) e seus respectivos dados operacionais de recozimento. Neste levantamento utilizou-se aços destinados à estampagem profunda com qualidade de superficial superior (RE-PQF).

Os dados recolhidos foram analisados estatisticamente, e o defeito "cor de revenido" correlacionado com os parâmetros que controlam o resfriamento das bobinas no recozimento. Os resultados obtidos possibilitam estimar o tempo de resfriamento e a formação da carga de recozimento visando evitar o referido defeito.

2. DESENVOLVIMENTO

O defeito "cor de revenido" é uma oxidação a temperaturas da ordem de 150°C , dando origem a uma camada de óxidos sobre a superfície da BF, que em função da sua espessura assume colorações diferentes. A espessura da camada de óxidos será mais espessa, quanto mais alta for a temperatura da superfície da BF. Desta forma, a coloração do defeito varia de amarelo claro até azul escuro. A origem da

coloração deve-se a uma interferência entre a luz refletida das partes interna e externa da camada de óxidos.

Baseando nas considerações acima, pode-se concluir que o controle da temperatura da carga no final do resfriamento é de fundamental importância na prevenção da ocorrência da cor de revenido.

Durante muitos anos trabalhou-se, no processo de recozimento em caixa, com base na temperatura registrada por termopares colocados junto à carga, para controle da temperatura de descarregamento. Contudo, devido à formação de cargas de diferentes formas e pesos, tem-se condições de resfriamento não uniformes. Estudos⁽¹⁾ recentes de desenvolvimento de modelos matemáticos para controle do recozimento da USIMINAS, permitiram eliminar esse problema com a racionalização do carregamento para obter-se cargas mais homogêneas. Assim, o controle do descarregamento passou a ser feito estritamente pelo tempo total de resfriamento, utilizando a temperatura dos termopares apenas como referência.

Neste trabalho visou-se obter um controle do descarregamento também pelo tempo total de resfriamento, mas totalmente baseado na ocorrência do defeito "cor de revenido".

2.1 - Levantamento de Dados

Para a realização do levantamento de dados foi selecionado um tipo de aço destinado à estampagem profunda com qualidade superficial superior (RE-PQF), e uma inspeção especial de qualidade foi realizada em bobinas nas linhas de encruamento e acabamento. O defeito "cor de revenido" foi classificado pela inspeção da USIMINAS em revenido amarelo A (10, 20 e 30 pontos) e revenido amarelo B. Durante o período de estudo para todas as bobinas que apresentaram o defeito, nas bases referentes ao recozimento 5 da USIMINAS, foram levantados os seus respectivos dados operacionais, tais como: tempo total de aquecimento, temperatura de encharque, temperatura de resfriamento forçado, peso, dimensões, e posição das bobinas na carga, assim como, a informação da inspeção quanto a ocorrência do defeito nas demais bobinas da carga.

Inicialmente foram eliminados os dados referentes a todas as cargas que apresentaram anormalidades operacionais durante o proces

so de recozimento, como por exemplo, corte de energia, abafador trincado, etc.

2.2 - Procedimento de Análise dos Dados

Para efeito de análise dos dados, o defeito "cor de revenido" foi dividido em dois níveis: revenido de cor amarela A e revenido de cor amarela B. Justifica-se este procedimento, pelo fato de que os subníveis existentes na cor amarela A, ou seja, 10, 20 e 30 pontos, são devidos a pequenas diferenças de espessura na camada de óxidos formada sobre a superfície da BF. Estas diferenças de espessura são da ordem de 20Å a 30Å⁽²⁾.

A fim de determinar a influência dos parâmetros de recozimento na ocorrência do defeito, foram analisadas somente as cargas onde todas as bobinas apresentaram a mesma coloração, ou seja, amarela A ou amarela B. Desta forma, eliminaram-se as cargas heterogêneas sob o ponto de vista de resfriamento e pode-se determinar as condições de resfriamento que acarretam os diferentes níveis do defeito.

Todos os dados previamente selecionados de acordo com as considerações supra-citadas, foram armazenadas em um computador IBM 370/1, e foi utilizado um programa de computador⁽³⁾ ("Statistical Package for the Social Sciences") para determinar a correlação entre os parâmetros operacionais de recozimento e a ocorrência do defeito "cor de revenido".

O procedimento descrito acima possibilita correlacionar o tempo total de resfriamento com a ocorrência da cor de revenido para um determinado peso da carga, por outro lado deve-se considerar ainda um outro parâmetro de importância, ou seja, a formação da carga. Assim, dependendo do peso e da posição da bobina (topo, meio e base) na carga de recozimento, um determinado tempo de resfriamento pode não ser suficiente para atender as necessidades de resfriamento de todas as bobinas, acarretando com isto diferentes níveis de cor de revenido entre as bobinas da mesma carga. Assim sendo, todos os dados do levantamento foram novamente analisados, incluindo as cargas nas quais as bobinas apresentaram níveis diferentes do defeito "cor de revenido", ou seja, amarelo A e amarelo B. Foram determinadas então as correlações entre o tempo total de resfriamento e o peso da

bobina, para as diferentes posições destas na carga e o defeito "cor de revenido".

3. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Os dados anteriormente selecionados, referentes as cargas que apresentaram a mesma coloração em todas as bobinas, ou seja, amarelo A ou amarelo B, foram correlacionados, utilizando-se o programa de computador ⁽³⁾ já referido.

A tabela I apresenta as equações de correlação do tempo total de resfriamento calculado em função dos parâmetros de recozimento, para cada nível do defeito "cor de revenido" (amarelo A ou amarelo B).

TABELA I - Equações de correlação do tempo total de resfriamento calculado em função dos parâmetros de recozimento, para cada nível do defeito "cor de revenido"

COR DE REVENIDO	EQUAÇÃO DE CORRELAÇÃO
AMARELO A	$TTR_{calc} = 17,63 + 0,60 PG - 0,20TTA + 0,04 TD - 0,01 TE$
AMARELO B	$TTR_{calc} = 27,01 + 0,46 PG + 0,13TTA - 0,23 TD - 0,01 TE$

onde: TTR_{calc} = Tempo Total de Resfriamento Calculado (h)

PG = Peso Total da Carga (t)

TTA = Tempo Total de Aquecimento (h)

TD = Temperatura de Descarregamento ($^{\circ}C$)

TE = Temperatura de Encharque ($^{\circ}C$)

A fim de verificar a validade destas equações, para o caso das cargas acima mencionadas, tratou-se de correlacionar os valores do tempo total de resfriamento real e o calculado. Esta análise está apresentada na tabela II, onde encontram-se as equações de correlação, o número de dados e os coeficientes de correlação do tempo total de resfriamento calculado versus o tempo total de resfriamento real. Os resultados apresentados na tabela II mostram uma boa correspondência entre o tempo de resfriamento calculado e o real, co-

TABELA II - Equações de correlação entre o tempo total de resfriamento calculado e o real para cada nível do defeito "cor de revenido"

COR DE REVENIDO	EQUAÇÃO DE CORRELAÇÃO	Nº DE DADOS	COEF. DE CORRELAÇÃO
AMARELO A	$TTR_{calc} = - 0,20 + 1,10 TTR_{real}$	71	0,96
AMARELO B	$TTR_{calc} = 4,0 + 0,91 TTR_{real}$	45	0,95

onde:

TTR_{calc} = Tempo Total de Resfriamento calculado (h)

TTR_{real} = Tempo Total de Resfriamento real (h)

mo pode ser avaliado pelo valor da inclinação.

De acordo com as variáveis das equações listadas na Tabela I, pode-se notar que para a obtenção de uma equação de controle do resfriamento deve ser considerada como variável apenas o peso da carga, tendo em vista que as demais variáveis estão padronizadas de modo a atender ao ciclo de recozimento desejado.

Para determinar as equações do tempo total de resfriamento, baseado na ocorrência da cor de revenido amarelo A e amarelo B, correlacionou-se o tempo total de resfriamento calculado com o peso das cargas. A figura 1 mostra os resultados dessa correlação para os dois níveis do defeito. Está evidenciado pela posição das curvas, que a cor de revenido amarelo B, para um determinado peso de carga, ocorre para um tempo de resfriamento inferior àquele que acarretaria revenido amarelo A. As curvas na figura 1 representam situações de transição com relação à ocorrência do defeito, portanto para um determinado peso da carga, dependendo do tempo de resfriamento utilizado, pode-se obter três diferentes situações, a saber cor de revenido amarelo B, amarelo A e material isento do defeito.

Para determinar a influência da formação da carga sobre a ocorrência do defeito "cor de revenido", todos os dados do levantamento foram novamente analisados, incluindo as cargas nas quais as bobinas apresentaram níveis diferentes do defeito (amarelo A e amarelo B). A tabela III apresenta as equações de correlação entre o tempo total de resfriamento calculado e os parâmetros de recozimento, levando-se em consideração a posição da bobina na carga (topo ,

TABELA III - Equações de correlação entre o tempo total de resfriamento calculado e os parâmetros de recozimento, para cada posição das bobinas na carga e ocorrência do defeito "cor de revenido"

POSIÇÃO NA CARGA	COR DE REVENIDO	EQUAÇÃO DE CORRELAÇÃO
BASE	AMARELO A	$TTR_{calc.} = 36,64 + 0,45PG + 0,20TTA - 0,18TD - 0,04 TE$
	AMARELO B	$TTR_{calc.} = 74,90 + 0,54PG + 0,02TTA - 0,22TD - 0,10 TE$
MEIO	AMARELO A	$TTR_{calc.} = 35,48 + 0,52PG + 0,04TTA - 0,23TD - 0,02 TE$
	AMARELO B	$TTR_{calc.} = 57,61 + 0,50PG + 0,04TTA - 0,21TD - 0,06 TE$
TOPO	AMARELO A	$TTR_{calc.} = 20,98 + 0,54PG - 0,02TTA - 0,26TD - 0,01 TE$
	AMARELO B	$TTR_{calc.} = 44,20 + 0,52PG - 0,03TTA - 0,17TD - 0,04 TE$

onde: $TTR_{calc.}$ = Tempo Total de Resfriamento calculado (h)
 PG = Peso Total da Carga (t)
 TTA = Tempo Total de Aquecimento (h)
 TD = Temperatura de Descarregamento ($^{\circ}C$)
 TE = Temperatura de Encharque ($^{\circ}C$)

meio e base) e o defeito "cor de revenido".

Da mesma forma, foi verificada a validade das equações da tabela III através da correlação entre o tempo de resfriamento real e o calculado. A tabela IV mostra a equação linear, o número de dados e o coeficiente de correlação entre o tempo de resfriamento real e o calculado.

Utilizando as equações da tabela III, foram correlacionados o tempo total de resfriamento calculado com o peso da bobina, para cada posição desta na carga (topo, meio e base) e nível do defeito "cor de revenido". Os resultados destas correlações estão mostrados na figura 2, e pode-se notar novamente que as curvas referentes a cor de revenido amarelo B, estão relacionadas a um tempo de resfriamento inferior àquele que acarretaria um revenido de cor amarela A. Observa-se ainda, que as bobinas posicionadas no meio da carga necessitam de tempo de resfriamento mais elevado, e que a posição mais favorável ao resfriamento é a base.

TABELA IV - Equações de correlação entre o tempo total de resfriamento calculado e o real, para cada posição das bobinas na carga e a ocorrência de cor de revenido

POSIÇÃO NA CARGA	COR DE REVENIDO	EQUAÇÕES DE CORRELAÇÃO	Nº DE DADOS	COEF. DE CORRELAÇÃO
BASE	AMARELO A	$TTR_{calc.} = 2,9 + 0,93 TTR_{real}$	94	0,96
	AMARELO B	$TTR_{calc.} = 3,6 + 0,80 TTR_{real}$	54	0,90
MEIO	AMARELO A	$TTR_{calc.} = 5,6 + 0,92 TTR_{real}$	103	0,96
	AMARELO B	$TTR_{calc.} = 4,9 + 0,92 TTR_{real}$	46	0,96
TOPO	AMARELO A	$TTR_{calc.} = 4,1 + 0,93 TTR_{real}$	102	0,96
	AMARELO B	$TTR_{calc.} = 2,6 + 0,95 TTR_{real}$	44	0,97

onde: $TTR_{calc.}$ = Tempo Total de Resfriamento calculado (h)

TTR_{real} = Tempo Total de Resfriamento real (h)

Portanto, a utilização conjunta das figuras 1 e 2 permite o cálculo do tempo total de resfriamento de uma carga, levando-se em conta as necessidades de resfriamento de cada posição e peso das bobinas, de modo a evitar a ocorrência do defeito "cor de revenido". Dessa forma, o gráfico da figura 1 pode servir como um modelo de controle do resfriamento, e o gráfico da figura 2 como uma condição para a formação de cargas no recozimento. Um exemplo da utilização deste modelo está mostrado na figura 3. Para uma carga de três bobinas, tem-se:

P_A = peso da bobina da base

P_B = peso da bobina do meio

P_C = peso da bobina do topo,

calcula-se o peso total da carga:

$$P_T = P_A + P_B + P_C$$

Utilizando-se o gráfico da figura 3, determina-se o tempo total de resfriamento (TTR) para um determinado peso total da carga (P_T). Feito isto, verifica-se a condição de resfriamento de cada bobina através do gráfico B da figura 3. Caso o peso das bobinas não seja maior que os respectivos pesos máximos determinados acima, o

tempo total de resfriamento seria suficiente para atender as necessidades de resfriamento das três bobinas. Quando o peso de uma ou mais bobinas for superior aos respectivos pesos máximos, o tempo total de resfriamento acima determinado, é insuficiente para resfriar tais bobinas. Neste caso a formação de uma nova carga seria necessária de modo a evitar-se a ocorrência do defeito "cor de revenido".

A utilização deste modelo proposto acima pode trazer também como benefício a verificação mais rápida de alguns problemas operacionais, que podem vir a provocar o defeito "cor de revenido", tais como: a vedação inadequada da base, pequenas trincas no abafador ou problemas com o gás de proteção.

4. CONCLUSÕES

1 - O defeito "cor de revenido" é uma oxidação à temperaturas da ordem de 150°C onde a espessura da camada de óxidos determina a coloração da superfície da tira. Desta forma, quanto maior a temperatura da carga no descarregamento mais espessa será a camada de óxidos. Desta forma, a cor de revenido amarelo B apresenta uma espessura da camada de óxidos maior do que aquela da cor de revenido amarela A.

2 - Obteve-se uma equação que pode ser utilizada para controle do tempo total de resfriamento em função do peso total da carga, de forma a evitar a ocorrência do defeito "cor de revenido".

3 - Desenvolveram-se equações para as diferentes posições das bobinas na carga (topo, meio e base), as quais fornecem o tempo total de resfriamento em função do peso da bobina, de forma a evitar a ocorrência do defeito "cor de revenido".

4 - Os resultados obtidos podem servir como uma condição de um modelo para o controle do resfriamento e formação de cargas do recozimento, onde procurar-se-ia carregar bobinas em posições (topo, meio e base) tais que, o tempo total de resfriamento calculado fosse suficiente para resfriar todas as bobinas da carga ⁽⁴⁾.

5 - A utilização deste modelo traria como benefício a detecção mais rápida de problemas operacionais ligados à ocorrência do defeito "cor de revenido", tais como: a vedação inadequada da base, pe-

quenas trincas no abafador ou problemas com o gás de proteção.

AGRADECIMENTOS

Os autores desejam expressar seus agradecimentos a UMI-F , e UMF e aos técnicos Carlos Ventura Barbosa e Sérgio Luiz Fasseber , cuja colaboração foi fundamental para a execução deste trabalho.

BIBLIOGRAFIA

1. MACHAIN, R.H.; SARMENTO, E.C.; DE SOUZA, R.E. - Automação do Recozimento de Chapas Laminadas a Frio da Usiminas. Seminário da COLAM - 1981.
2. DAVIES, E.D. et alii - The oxidation of iron at 175 to 350°C. Proc. Royal Soc. - pp. 443-462, 1954.
3. NIE, N.H. - SPSS. Statistical Package for the Social Sciences. McGraw-Hill. New York. 2ª Ed., 1975.
4. PATENTE Requerida sob o nº PI8301139: "Processo para Controle de Ciclo de Resfriamento". Março, 1983.

RECOZIMENTO 5

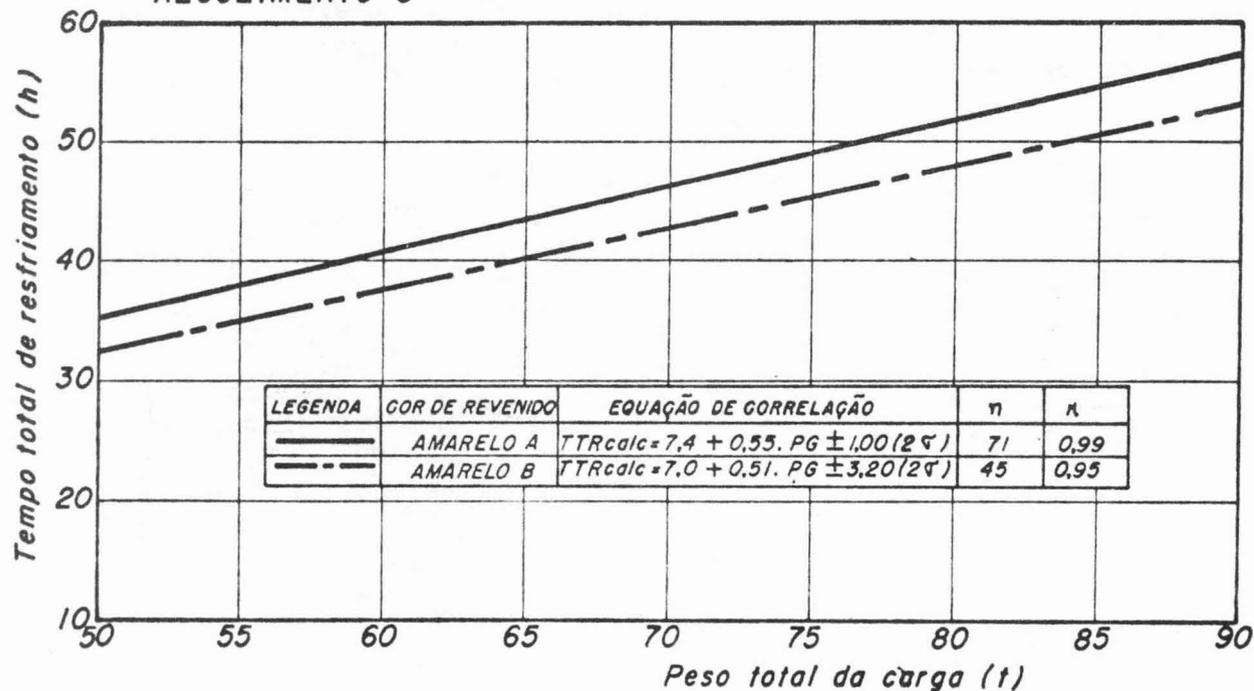


Figura 1 - Correlação entre o tempo total de resfriamento calculado e o peso total da carga, para cada nível do defeito "cor de revenido".

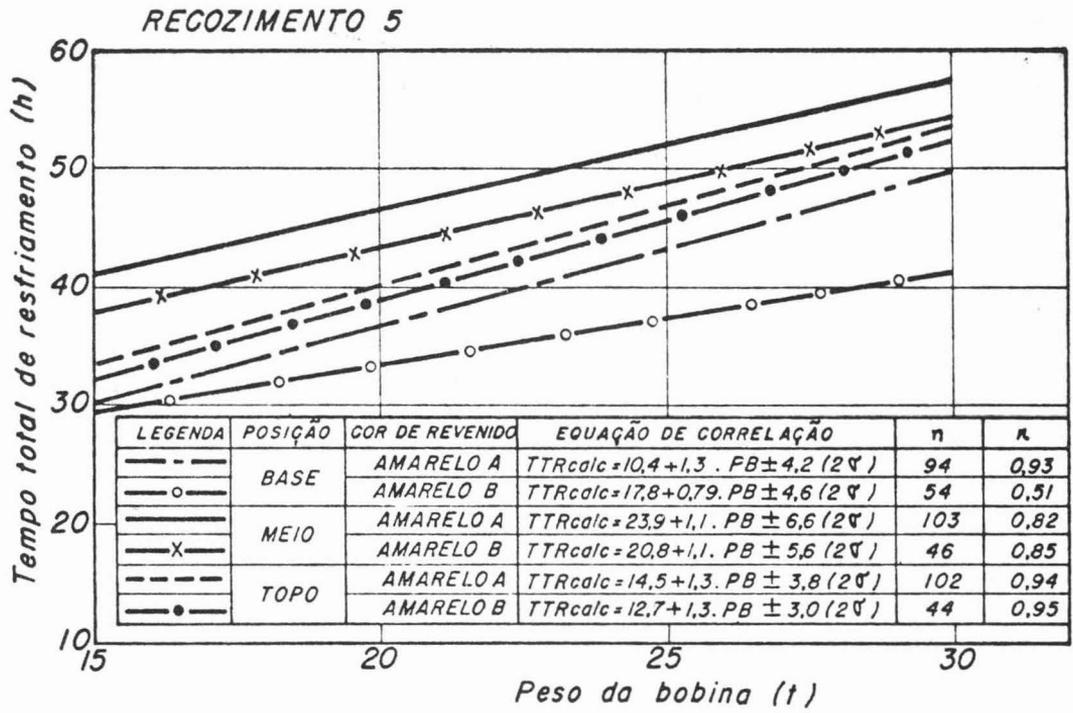
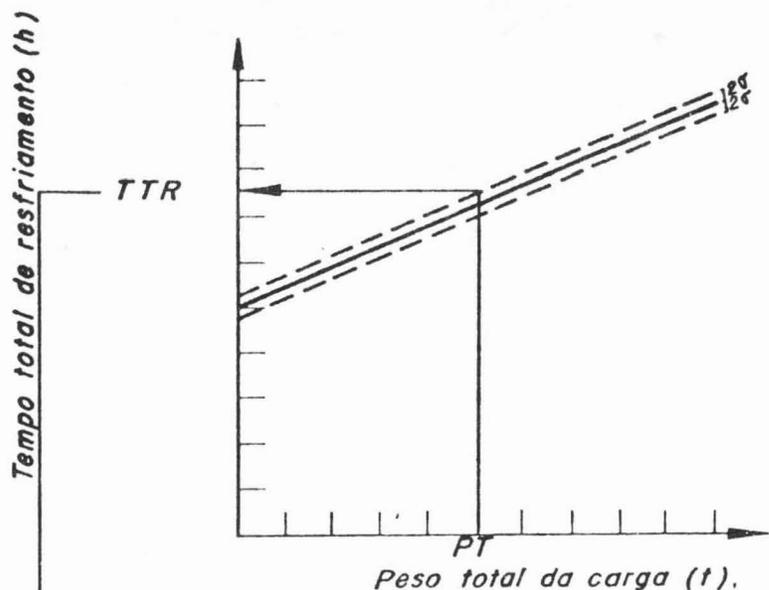
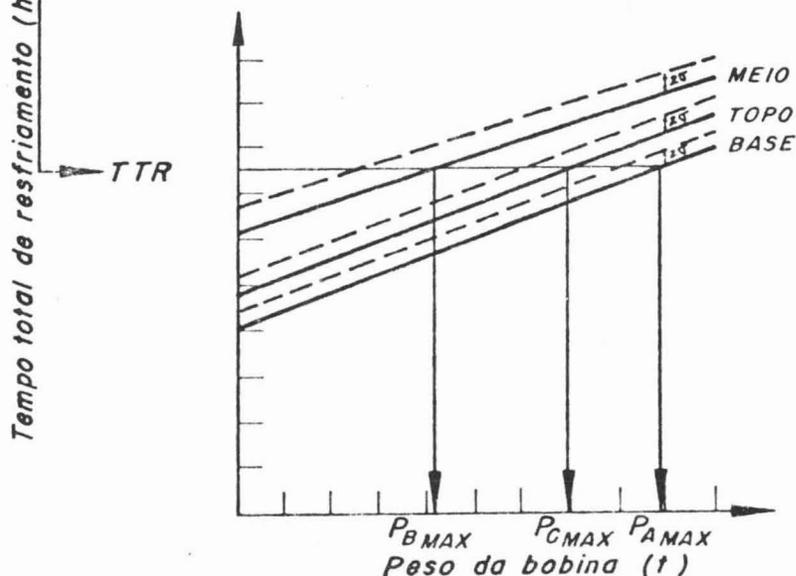


Figura 2 - Correlação entre o tempo total de resfriamento calculado e o peso da bobina, para cada posição na carga e nível do defeito cor de revenido.



A- Gráfico do tempo total de resfriamento em função do peso total da carga, para a cor de revenido amarelo A.



B- Gráfico do tempo total de resfriamento em função do peso da bobina, para cada posição desta na carga e a cor de revenido amarelo A.

Figura 3-Exemplo da aplicação do modelo de controle do resfriamento e formação de cargas no recozimento, para evitar a ocorrência do defeito "cor de revenido"

