

CONVERSÃO AUSTENITA MARTENSITA
ATRAVÉS DE SOLUÇÃO CRIOGÊNICA
COM CO₂ EM CILINDROS DE AÇOS
FORJADOS TEMPERADOS

ANTONIO WILLIAM SILVA FÉRES - Membro da ABM. Engenheiro da Universidade Federal Fluminense. Engenheiro de Estudos e de Desenvolvimento Técnico da Superintendência de Cilindros da Companhia Siderúrgica Nacional; Volta Redonda, RJ.

JOSE GONZALO VILLAVERDE COUTO - Membro da ABM. Engenheiro Metalúrgico da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Chefe do Centro de Desenvolvimento e Pesquisas de Novas Aplicações da Liquid Carbonic Indústrias S/A; RJ.

COMISSÃO DE LAMINAÇÃO DA ABM (COLAM)

SUMÁRIO

Processo inédito da conversão da austenita retida em martensita, em cilindros de laminação forjados temperados, utilizando uma mistura de CO₂ com solução não inflamável e não congelante.

O novo processo possui uma eficiência de troca térmica maior, em relação aos processos convencionais de tratamento sub-zero, por força do meio líquido em que se passa, atingindo altos níveis de dureza e grande redução no tempo de processamento.

1- INTRODUÇÃO

A técnica de tratamento sub-zero em cilindros de laminação de aço forjado, "roll freezing", vem sendo difundida entre os grandes produtores e usuários mundiais de cilindros de aço forjado, e também no Brasil.

Esta técnica está sendo implantada gradativamente, tanto para cilindros novos como para cilindros submetidos ao processo de retêmpera.

Com o tratamento sub-zero visa-se transformar a austenita retida, maior que 10% em volume, em martensita, de tal sorte que após este tratamento, aquele valor não ultrapasse a 4%.

A austenita retida é o teor residual da austenita que ainda permanece sem transformação, após o tratamento convencional de têmpera.

Entre os inconvenientes da presença da austenita retida, no cilindro temperado, podemos destacar:

- menor resistência ao desgaste;
- instabilidade dimensional à temperatura ambiente;
- menor resistência à corrosão;
- dureza inferior à máxima potencial;
- menor condutividade térmica;
- maior probabilidade de ocorrência de lascamento.

Como a dureza da austenita retida é inferior à da martensita, a dureza da camada temperada torna-se menor e heterogênea.

No sentido de aumentar e homogeneizar esta dureza, é necessário que a austenita retida se transforme em martensita, e através de tratamentos criogênicos, este objetivo é atingido.

Graças a utilização deste processo, obtém-se um cilindro com dureza superior à conseguida com os processos normais de tempera e/ou retêmpera.

Obtém-se, ainda, uma dureza mais constante ao longo de toda camada temperada, garantindo uma melhor performance do cilindro, quando submetido às retificações normais após cada campanha.

Garantem-se, então, com o tratamento sub-zero, um aumento efetivo da espessura utilizada, a diminuição do número de retificações da superfície do cilindro, em virtude de menor ocorrência de defeitos.

As excelentes características mecânicas e metalúrgicas, oriundas desta prática, levaram as usinas produtoras e consumidoras de cilindros de aços forjados a optarem pela técnica do tratamento sub-zero.

2- TRABALHOS REALIZADOS E RESULTADOS OBTIDOS

2.1PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Para que os objetivos propostos pudessem ser atingidos, a Liquid Carbonic desenvolveu um programa de trabalho, na Companhia Siderúrgica Nacional, que contou com a colaboração da Superintendência de Cilindros, com o intuito de definir os parâmetros ligados ao emprego do CO₂ no tratamento sub-zero de cilindros forjados.

Inicialmente, procurou-se dotar o sistema de facilidades, que permitissem a obtenção de melhores condições operacionais.

Para tanto, construiu-se uma caixa de madeira isolada com placas de isopor a fim de minimizar as trocas térmicas e aumentar a eficiência e, conseqüentemente, o rendimento do processo.

A caixa e a tampa foram revestidas internamente com chapas metálicas, com a finalidade de proteger as placas de isolamento e aumentar a segurança na área de trabalho.

A caixa de tratamento foi totalmente impermeabilizada com uma camada de fibra de vidro, para aumentar sua resistência.

A figura (1) mostra, com detalhes, a caixa empregada para este tipo de tratamento.

As etapas ligadas ao tratamento sub-zero, subsequentes à técnica de t \hat{e} mpera e/ou ret \hat{e} mpera, obedeceram a seqüência discriminada, a seguir:

- a) Isolamento, colocação dos termistores na superfície da "mesa" do cilindro e medição da sua temperatura inicial.
- b) Posicionamento suave do cilindro na caixa de resfriamento.
- c) Resfriamento do cilindro através da adição de gelo seco, "spray" de neve carbônica, e do emprego destas duas técnicas associadas ao uso de um líquido não inflamável e não congelante.
- d) Estabilização do conjunto, cilindro e agente refrigerante, à temperatura de -79°C .
- e) Retirada do cilindro da caixa de resfriamento.
- f) Revenimento do cilindro.
- g) Estocagem cuidadosa do cilindro.

2.2 TÉCNICAS UTILIZADAS

Três técnicas foram desenvolvidas visando a criogenia com CO_2 :

- gelo seco;
- CO_2 líquido (spray de neve carbônica);

- gelo seco ou spray de neve carbônica associados ao uso de um líquido não congelante e não inflamável.

2.2.1 Técnica com Gelo Seco

O gelo seco é colocado sobre o cilindro, tomando-se o cuidado de recobri-lo totalmente, para que a transferência de frio seja a mais uniforme possível.

Em seguida, fecha-se a caixa, a qual somente deverá ser aberta após os tempos previstos para a realização do tratamento subzero.

Estes tempos denominados "resfriamento e encharque" estão diretamente relacionados à profundidade de t \hat{e} mpera requerida.

Operando-se com gelo seco, a transferência de frio passa a ser do tipo s \hat{o} lido-s \hat{o} lido, com uma troca t \hat{e} r \hat{m} ica n \hat{a} o t \hat{a} o eficiente, daí a necessidade de se ter um tempo de resfriamento muito maior do que quando se opera com gelo seco ou CO₂ líquido associados a um líquido não congelante. Neste caso, a transferência passa a ser do tipo líquido-s \hat{o} lido.

Experiências realizadas na Superintendência de Cilindros da Companhia Siderúrgica Nacional, mostraram que o tempo necessário para o cilindro atingir a temperatura de estabilização do sistema (-79°C) é da ordem de 21 h.

A figura (2) mostra as curvas características de resfriamento.

Após este tratamento, os cilindros foram submetidos ao tratamento t \hat{e} r \hat{m} ico de revenimento à temperatura de 200°C, durante 48 h.

2.2.2 Técnica com CO₂ Líquido (Spray de Neve Carbônica)

Utilizando-se o CO₂ sob a forma líquida (spray de neve carbônica) lançado diretamente sobre a superfície da "mesa" do cilindro, deve-se adotar os mesmos cuidados mencionados na técnica com gelo seco.

Uma vantagem adicional consiste na possibilidade de semi-automa-
tizar o sistema.

Com o emprego desta técnica, o tempo de resfriamento do cilin-
dro é da mesma ordem de grandeza, do obtido quando se emprega'
gelo seco.

2.2.3 Técnica com Gelo Seco ou CO₂ Líquido Associados ao Uso de Um Líquido Não Congelante

A prática normal de tratamento sub-zero, seja empregando Nitrogê-
nio ou CO₂ sob as formas líquida e/ou gasosa, possui o inconve-
niente de proceder uma transferência de frio não tão eficiente,
pelas condições intrínsecas de resfriamento que estes agentes '
refrigerantes proporcionam.

Tanto a transferência obtida com Nitrogênio, do tipo gás-sólido -
do, como a obtida com CO₂, do tipo sólido-sólido, não garantem'
uma velocidade de resfriamento que atenda a demanda do processo.

Em consequência, o tempo de resfriamento torna-se sensivelmente
maior, criando um gargalo na produção.

Para que se consiga o incremento da produtividade, é necessário
criar condições para que a transferência de frio entre o agente
refrigerante e o cilindro de laminação, seja a mais rápida pos-
sível.

Em função do exposto, foi desenvolvida a técnica empregando- se
o CO₂ associado a um líquido refrigerante.

Para atender, então, às necessidades do processo, o líquido em
destaque apresenta as seguintes características:

- não inflamabilidade;
- baixo ponto de congelamento (abaixo de -80°C);
- não toxidez;
- baixa pressão de vapor (perda mínima por evaporação);
- ótima fluidez.

O emprego do CO_2 em solução com o líquido refrigerante garante uma transferência de frio muito mais rápida do que com os processos convencionais.

Assim sendo, pode-se lançar mão de duas alternativas para realizar este tratamento: através de CO_2 líquido e/ou gelo seco.

As duas técnicas são detalhadas nas figuras (3) e (4).

O líquido refrigerante possui baixa pressão de vapor (menor do que a da água), e neste caso pode ser utilizado inúmeras vezes, já que as perdas por evaporação são mínimas.

O emprego deste líquido veio de encontro às necessidades do processo, já que numa usina siderúrgica as normas de segurança com relação ao emprego de produtos inflamáveis (álcool e acetona), são bastante rígidas.

Além das vantagens anteriormente mencionadas, o uso deste elemento proporciona a possibilidade de adaptação de um controle automático do sistema, a qualquer nível de tratamento.

A figura (5) mostra as curvas características de resfriamento, utilizando-se esta técnica.

Após este tratamento os cilindros foram submetidos a um revenimento a 200°C , num período de 48 h.

2.2.4 Novos Procedimentos Visando a Otimização do Processo

Visando a otimização do processo, tendo em vista o aspecto econômico e o incremento da produtividade, procurou-se reduzir o tempo de resfriamento do cilindro.

Adotou-se como prática normal, a seguinte sequência operacional:

- a) retirada do cilindro da máquina de têmpera;
- b) medição da temperatura do cilindro;
- c) imersão direta do cilindro na solução previamente resfriada;

- d) resfriamento do cilindro durante um período pré-determinado;
- e) remoção do cilindro da caixa de tratamento;
- f) revenimento do cilindro;
- g) estocagem cuidadosa do cilindro.

Analisando o gráfico da figura (5), pode-se verificar que para um tempo de resfriamento, da ordem de 2 horas, a temperatura final dos cilindros atingiu a faixa de $-65 / -75^{\circ}\text{C}$. Estes valores dependem, evidentemente, da temperatura inicial que se encontra a solução.

Assim sendo, as experiências foram conduzidas de tal forma que a solução sempre se encontrasse numa faixa de temperatura entre $-68 / -79^{\circ}\text{C}$, a fim de que num período de resfriamento de 2 horas, tivesse-se atingido a menor temperatura, apenas na camada temperada e não na massa total do sistema.

Isto diverge totalmente das técnicas convencionais, que adotam como norma proceder um resfriamento em toda a massa do sistema até o seu equilíbrio.

A figura (6) mostra os pontos operacionais práticos nos quais os cilindros foram tratados.

Como nos casos anteriores, o revenimento foi processado a uma temperatura de 200°C , num período de 48 h.

2.3 RESULTADOS OBTIDOS

2.3.1 Quanto a Dureza Superficial dos Cilindros

A tabela (I), a seguir, ilustra os resultados práticos.

Técnicas Empregadas	Condições de Tratamento	Dureza (Shore) Valores Médios
Gelo Seco	Após têmpera	96 - 97
	Após sub-zero	100 - 104
	Após revenido	95 - 97
Gelo seco associado a um líquido refrigerante.	Após têmpera	96 - 97
	Após sub-zero	100 - 104
	Após revenido	95 - 97
Novos procedimentos visando a otimização do processo.	Após têmpera	96 - 97
	Após sub-zero	101 - 105
	Após revenido	95 - 98

Tabela I - Dureza Superficial dos Cilindros

2.3.2 Tempos de Resfriamento dos Cilindros, Tabela (II)

Técnicas Empregadas	Tempos de Resfriamento (horas)	Redução nos Tempos de Resfriamento (horas)
Gelo Seco	21	
Gelo seco associado a um líquido refrigerante.	8	13
Novos procedimentos visando a otimização do processo.	2	19

Tabela II - Tempos de Resfriamento

2.3.3 Consumo de CO₂, Tabela (III)

Técnicas Empregadas Temp. do Cilindro 130°C	Consumo de CO ₂ kg / ton aço	Redução no Consumo de gelo seco (%)
Gelo Seco	250	21
Gelo seco associado a um líquido refrigerante.	260	24
Novos procedimentos visando a otimização do processo.	197	

3- ANÁLISE DOS RESULTADOS

3.1 QUANTO AOS NÍVEIS DE DUREZA

Analisando a tabela (I), é possível verificar que os valores de dureza sofreram um sensível incremento após sub-zero, e dentro de uma mesma faixa, qualquer que seja a técnica empregada para este tratamento.

É importante destacar os valores de dureza obtidos com o novo procedimento, ou seja, realizando o tratamento sub-zero em apenas 2 horas.

Com esta técnica, para uma temperatura final de processamento variando entre $-60 / -72^{\circ}\text{C}$, a eficiência do processo foi idêntica a das outras técnicas, nas quais houve um resfriamento até -79°C , seguido de um encharcamento à mesma temperatura.

Isto leva a crer que a temperatura de transformação austenita - martensita para o aço em questão não deve ultrapassar a temperatura limite inferior do novo procedimento, ou seja, -72°C .

3.2 QUANTO AO TEMPO DE RESFRIAMENTO

A tabela II é auto-explicativa. A necessidade de se optar por uma ou outra técnica será função exclusivamente das condições operacionais de cada usina.

Evidentemente, não se pode desprezar a redução do tempo de processamento.

Isto é substancialmente marcante numa usina na qual o tratamento sub-zero é um gargalo tanto no tratamento de cilindros novos como no de cilindros retemperados.

3.3 QUANTO AO CONSUMO DE CO_2

O novo procedimento visando a otimização do processo mostrou-se altamente econômico, no que diz respeito ao consumo de CO_2 , da ordem de 21 a 24% em relação aos outros processos.

Cumpra salientar que os resultados de consumo de CO₂ tabulados, referem-se à temperatura de entrada do cilindro na caixa de tratamento, da ordem de 130°C.

É evidente que se a referida temperatura oscilar entre 25 a 30 °C, o consumo de CO₂ sofrerá uma redução de aproximadamente 54%.

4- CONCLUSÕES

Dos resultados experimentais e análise dos dados obtidos com o novo procedimento, as seguintes conclusões podem ser extraídas, quando comparadas com a técnica convencional com CO₂:

- redução do tempo de resfriamento do cilindro em 19 horas;
- diminuição do consumo de CO₂, da ordem de 21%;
- obtenção de idênticos níveis de dureza;
- constatação de que a temperatura de tratamento oscilando entre -60 / -72 °C foi o suficiente para que ocorresse a transformação austenita - martensita.

AGRADECIMENTOS

À Diretoria e à Superintendência de Cilindros da Companhia Siderúrgica Nacional por possibilitarem a realização e divulgação deste trabalho.

De modo especial ao Engenheiro Anchyses C. Lopes pela orientação prestada no desenvolvimento destas técnicas.

Agradecemos aos técnicos da Liquid Carbonic e da Companhia Siderúrgica Nacional que tiveram participação ativa no desenvolvimento deste trabalho.

4- BIBLIOGRAFIA

- 1- ZAKHAROV, B - Heat treatment of metals - Foreign Language Publishing House - Moscow - pag.165.

- 2- RADHAKRISHNAN, S.S. - Sub-zero Treatment of Steel as Applied to Machine Tools and Allied Components - Central Machine Tool Institute, Bangalore - Tool and Alloy Steels - march/april, 1976 - pag. 109.
- 3- Tratamento Sub-zero - Arquivo Técnico do Centro de Informação e Documentação da Liquid Carbonic Indústrias S/A.
- 4- Novos Processos de Fabricação de Cilindros de Laminação - ABM, vol.33, nº 231 - fev.1977.

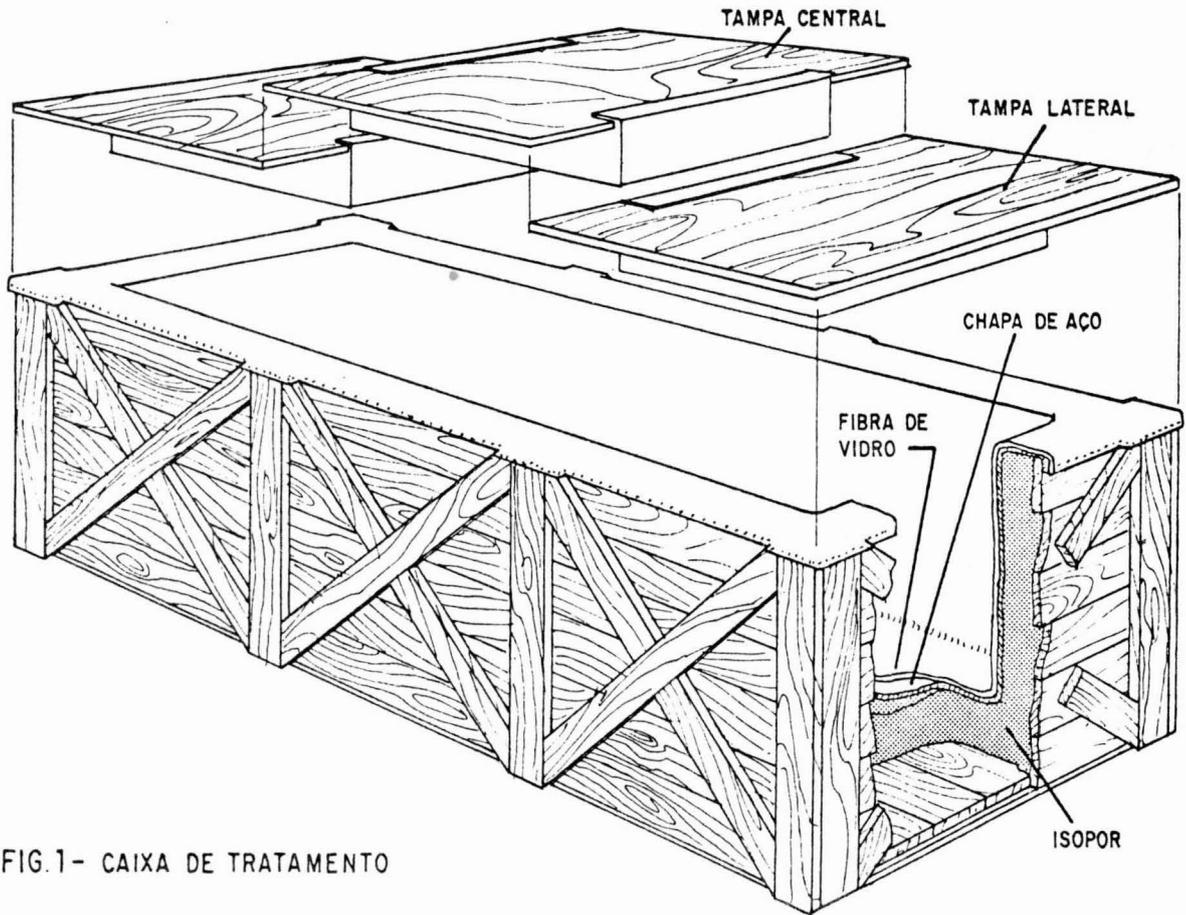


FIG.1- CAIXA DE TRATAMENTO

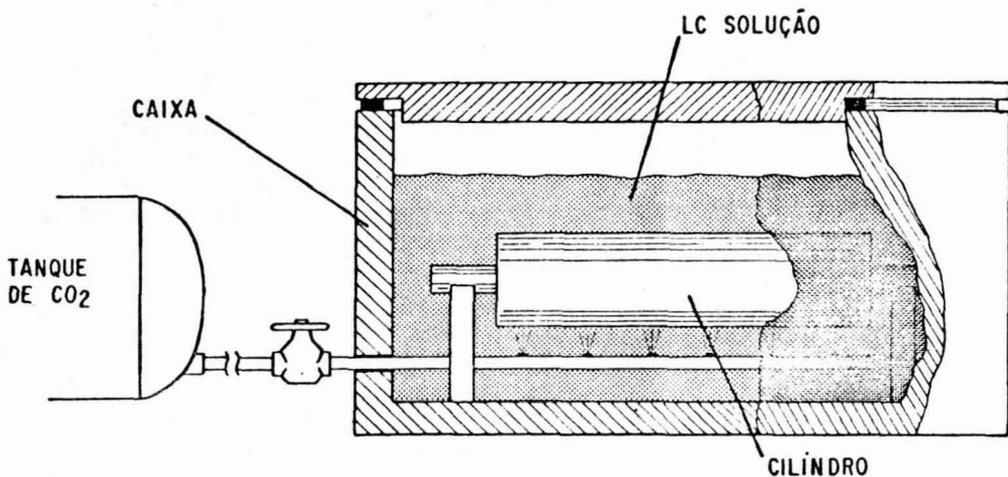


FIG. 3 UTILIZANDO CO₂ LÍQUIDO

TÉCNICA COM GELO SÊCO

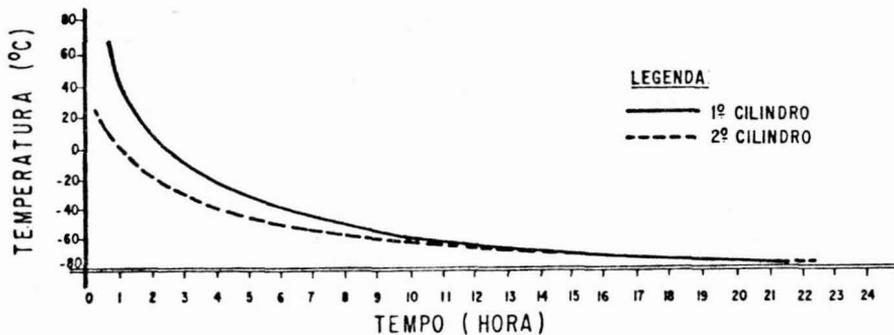


FIG. 2 DECRÉSCIMO DE TEMPERATURA vs TEMPO DE TRATAMENTO

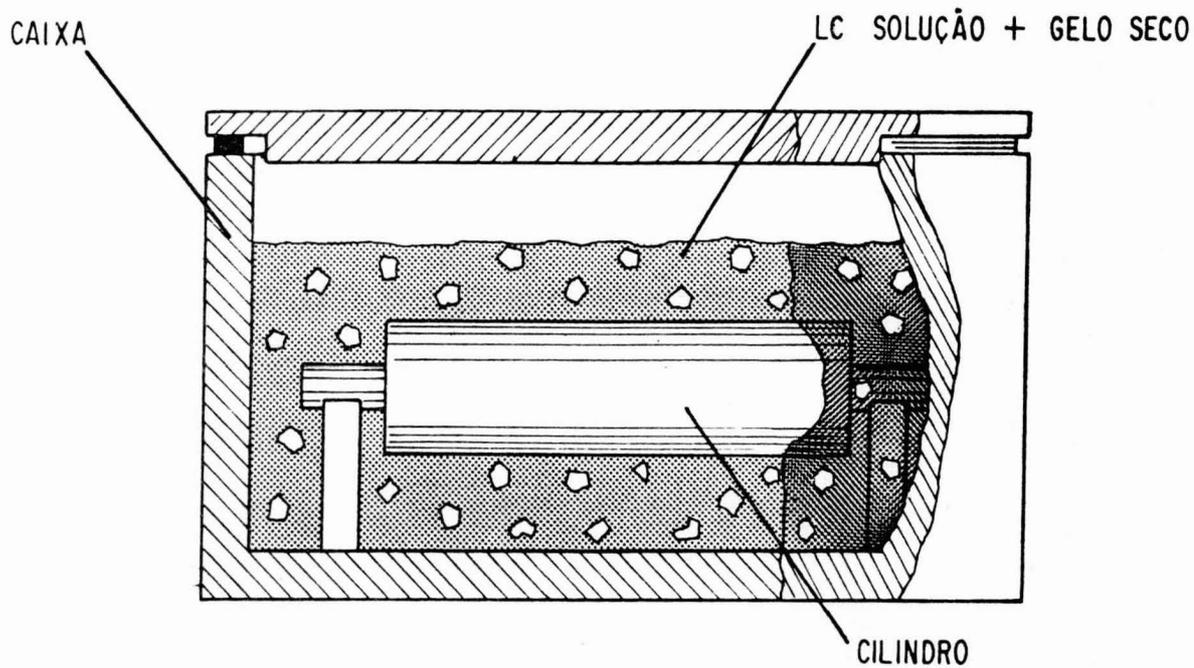


FIG. 4 UTILIZANDO GELO SECO

TÉCNICA COM GELO SECO OU CO₂ LÍQUIDO ASSOCIADO AO USO DA SOLUÇÃO LC

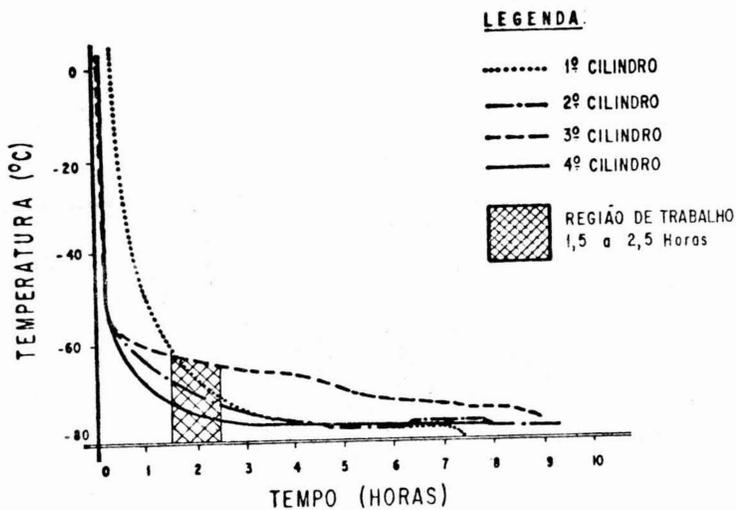


FIG. 5 DECRÉSCIMO DE TEMPERATURA vs TEMPO DE TRATAMENTO

NOVOS PROCEDIMENTOS VISANDO A OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO

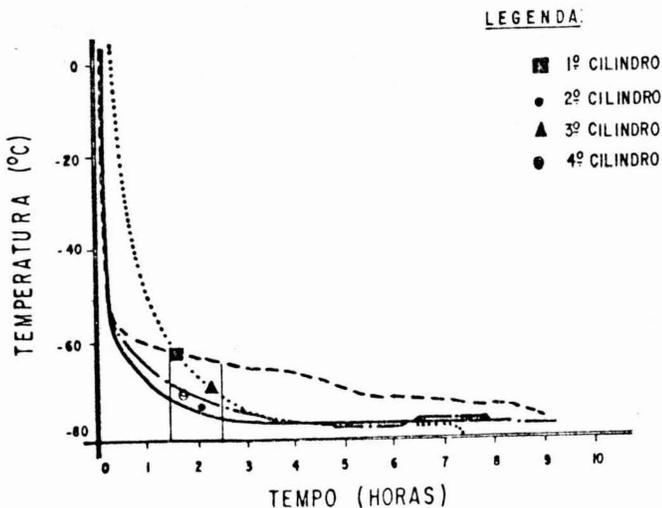


FIG. 6 DECRÉSCIMO DE TEMPERATURA vs TEMPO DE TRATAMENTO