

Célio Reis (2)

Pedro Olindo Pimentel (3)

Murilo V. Lima Filho (4)

## R E S U M O

Na atual crise energética, a USIMINAS, como todas as empresas do país, vem atuando na redução do consumo específico de combustível.

A Laminação de Tiras a Quente vem contribuir com o enforamento de placas quentes em seus fornos contínuos de reaquecimento, o que tem propiciado reduções de energia, de manuseio, de tempo de processo aciaria/expedição, de área para estoque intermediário, além de ter sido mantida a qualidade superficial do produto final.

São enfocados os métodos e resultados obtidos na fase de implantação do processo.

---

(1) - Trabalho a ser apresentado no Simpósio de Laminação da CO LAM, Setembro, 1981.

(2) - Membro da ABM, Engenheiro Metalúrgico, Assistente da Divisão de Laminação de Tiras a Quente do Departamento de Laminação a Quente da USIMINAS, Ipatinga, MG.

(3) - Membro da ABM, Engenheiro Siderúrgico, Analista de Produtos da Unidade de Padronização e Coordenação do Departamento de Metalurgia e Inspeção da USIMINAS, Ipatinga, MG.

(4) - Membro da ABM, Engenheiro Mecânico, Chefe da Seção de Programação da Laminação de Tiras a Quente do Departamento de Planejamento e Controle da Produção da USIMINAS, Ipatinga, MG.

## 1. INTRODUÇÃO

A tendência atual na redução de custo numa Usina Siderúrgica é o maior aproveitamento de energia. Na área da laminação a quente os processos de laminação direta e de enformamento de placas quentes nos fornos de reaquecimento são largamente empregados para tal fim.

Para utilização dos processos acima citados, são necessárias a obtenção de placas sem defeitos e uma eficiente programação da produção de aciaria e laminação para que o processo seja econômico.

Descreve-se no presente trabalho, a experiência obtida pela USIMINAS, com o processo de carregamento de placas quentes do lingotamento contínuo, em seus fornos de reaquecimento da laminação de tiras a quente, em 5(cinco) meses-de utilização.

## 2. ENFORNAMENTO A QUENTE DE PLACAS

O enformamento a quente de placas, na USIMINAS, consiste no processo de carregar nos fornos contínuos de reaquecimento, placas geradas do lingotamento contínuo, com temperatura em torno de 300-1000°C. O objetivo principal é evitar a elevada perda de calor com o resfriamento, para efeito de inspeção e recondição da superfície na temperatura ambiente, e posterior aquecimento à temperatura em torno de 1200-1300°C para a laminação.

O processo de carregamento de placas quentes, é utilizado para reduzir o consumo específico de combustível, podendo optar-se também pela elevação da produção horária.

Na Figura 1 podemos ver o fluxo do material para os casos do enformamento pelo processo convencional e a quente. Como consta do referido fluxo, os processos de resfriamento e escarfaagem são eliminados.

## 3. EVOLUÇÃO DA PRODUÇÃO NA USIMINAS

### 3.1. Fase 1

Foi realizado inicialmente uma experiência envolvendo em todas as suas fases, o enformamento de 750 t, objetivando a viabilidade de manuseio, transporte, qualidade superficial do produto final, implicações em termos de programação e redução no consumo

de combustível.

### 3.2 Fase 2

Terminada a fase 1 do processo, foi colocado em desenvolvimento uma nova etapa no processo de enformamento a quente de placa, que consistiu na implantação experimental do processo, tendo como desafio atingir de maneira plena os objetivos anteriormente planejados.

A Figura 2 mostra a evolução da produção pelo processo de enformamento a quente.

Salienta-se que, com a introdução operacional do enformamento a quente, até os atuais níveis de produção, não acarretou a necessidade de novos investimentos.

## 4. CONSUMO DE COMBUSTÍVEL

### 4.1. Considerações Termodinâmicas

Partindo-se de considerações termodinâmicas pode-se considerar para o funcionamento do forno à pressão constante, a variação de entalpia do processo de aquecimento da placa, admitindo-se um aço com teor de Fe em torno de 98,5%, e que as transformações alotrópicas e os calores específicos dos outros elementos tenham comportamento idêntico ao Fe, temos que:

$$\Delta H_{298}^{1473} = m \left[ \int_{298}^{1183} C_{pd}T + \Delta H_{\alpha \rightarrow \gamma} + \int_{1183}^{1473} C_{pd}T \right], \quad \text{onde}$$

$$\Delta H_{298}^{1473} = 194 \text{ Mcal/t} \rightarrow \text{calor para aquecer uma tonelada de placa fria.}$$

Considerando a variação de entalpia da temperatura ambiente até a temperatura ótima do enformamento a quente, temos:

$$\Delta H \begin{matrix} 973 \\ 298 \end{matrix} = m \int_{298}^{973} C_p dT = \int_{298}^{973} 4,18 + 5,92 \times 10^{-3} T dT, \text{ onde}$$

$$\Delta H \begin{matrix} 973 \\ 298 \end{matrix} = 95,7 \text{ Mcal/t} \rightarrow \text{Quantidade de calor que entra no forno por tonelada de placa, admitindo-se temperatura de enforamento igual a } 700^{\circ}\text{C}.$$

A entalpia necessária para colocar uma tonelada de placa, pelo processo a quente, em condição de laminação será:

$$\Delta H \begin{matrix} 1473 \\ 973 \end{matrix} = 194 - 95,7 = 98,3 \text{ Mcal}.$$

No Gráfico constante da Figura 3 pode-se observar a redução de entalpia para as diversas temperaturas de entrada da carga quente.

Quanto ao rendimento de encharque das placas, pode-se verificar, com a queda na vazão de combustível, também no dos gases de exaustão, com conseqüente redução na quantidade de calor sensível, e aumento na temperatura do ar de combustão. Isto vem propiciar, na condição de enforamento da carga com temperatura de  $700^{\circ}\text{C}$ , uma redução de 9,2% no consumo de combustível do forno.

No Gráfico constante da Figura 4 pode-se observar para diversas vazões de combustível, as perdas de calor de exaustão.

Tendo em vista o consumo médio de combustível, em torno de 360 Mcal/t, deduzido de 95,7 Mcal/t que entra com a placa e ... 33,0 Mcal/t que deixa de perder na exaustão, pode-se ter uma redução de 35,75% no consumo específico de combustível do forno.

#### 4.2. Resultados Obtidos no Consumo de Combustível no Forno

##### a) Na chance

Foi realizada avaliação do consumo de combustível em uma chance de laminação de 16 hs de laminação de placas quentes. Os resultados foram coletados no forno na frequência de hora em hora, e constam na Figura 5.

## b) Por Zona dos Fornos

Foi também realizada avaliação do consumo de combustível por zonas do forno contínuo, em uma chance de 53 placas enfor<sub>n</sub>das a quente, com 700 toneladas.

Como pode-se observar na Figura 6, as maiores reduções fo<sub>r</sub>am obtidas nas zonas de preaquecimento e aquecimento, sendo que a redução na zona de encharque foi relativamente pequena. Obser<sub>v</sub>va-se também que, apesar da queda no consumo de combustível, a temperatura nas zonas finais do forno (aquecimento e encharque) foram praticamente mantidas.

## c) Influência do Tamanho da Chance

Considerando :

$$I = \frac{P.Q}{P.P.I} \times 100, \text{ onde}$$

I = % de influência de placas quentes

P.Q = Peso das placas quentes enfor<sub>n</sub>adas, e

P.P.I = Peso das placas no período de influência, pode-se afirmar que o tamanho da chance de placas quentes está ligado diretamente ao consumo específico de combustível no forno, conforme consta da Tabela I.

## d) Resultados Mensais

Com a prática do enfor<sub>n</sub>amento a quente de placas, bem como as melhorias nas condições operacionais e de programação, pode-se observar uma significativa melhoria na redução do consumo de combustível nas placas enfor<sub>n</sub>adas a quente, passando de 323 Mcal/t em março/81 para 285 Mcal/t em jun./81. Esses resultados cons<sub>t</sub>am das Figuras 7 e 8.

## 5. DEFEITOS SUPERFICIAIS

### 5.1. Na Placa

Para que seja possível a realização do enfor<sub>n</sub>amento a quen<sub>t</sub>e, é de fundamental importância a obtenção de placas com qualidade superficial tal, que seja possível com grande margem de se<sub>g</sub>urança, que os produtos laminados por este processo, mantenham o rendimento de inspeção dentro do que normalmente se obtém ....

quando do enformamento a frio; caso contrário, quando não se tem placas isentas de defeitos, os mesmos podem permanecer no produto final, elevando a sua recusa, podendo tornar a utilização deste processo anti-econômico.

Na USIMINAS, o enformamento de placas quentes somente foi possível quando a qualidade superficial apresentou um nível de 85% de placas totalmente sem defeitos superficiais, sendo que .. 98% das placas apresentavam defeitos localizados que necessitavam de menos de 10% de área esca<sup>r</sup>fada.

Pesquisas pela United States Steel e a Honeywell<sup>(5)</sup> tem sido desenvolvidas no sentido de examinar as características da superfície da placa, enquanto esta se mantiver em temperatura aproximada de 1100°C. Câmaras sensíveis à luz, de grande comprimento de onda, transmitirão aos computadores as anormalidades constatadas na superfície do produto.

Apesar das pesquisas em desenvolvimento, o que tem sido .. feito em todo mundo, de mais seguro, para evitar defeitos superficiais no produto laminado, é um eficiente controle dos processos de fabricação.

## 5.2. No Produto Final

Foi realizada rigorosa inspeção superficial em 54 placas enformadas a quente, laminadas a quente e posteriormente laminadas a frio na espessura de 0,80 a 1,20 mm. Os resultados obtidos mostraram um índice de aprovação para qualidade de superfície da ABNT (superfície A e C) em nível igual à aqueles obtidos no material proveniente do processo convencional de enformamento, resultados esses que têm sido confirmados nos lotes posteriores enformados por este processo. Também nos produtos acabados no tiras a quente verificou-se o mesmo comportamento.

## 6. PROGRAMAÇÃO E SISTEMA INTEGRADO

### 6.1. Programação

A programação de chances de laminação para o processo de enformamento a quente é de vital importância.

Dependendo das condições de programação, pode-se obter melhores resultados no consumo de combustível com :

- a) Menor perda de temperatura por espera da placa para enforamento.
- b) Maior quantidade de placas quentes na chance.
- c) Menor exigência de temperatura das placas frias enforadas que estão vizinhas às da chance de placas quentes.
- d) Maior quantidade de placas quentes com o mesmo padrão, espessura e largura.

## 6.2. Sistema Integrado

Para efeito de maior eficiência no suporte à programação e ao controle do material enforado a quente, foram necessárias alterações nos sistemas integrados da produção já existentes, conforme consta na Figura 9. A partir do Providing foram inseridas restrições de grau de desoxidação, tipo de lingotamento e dimensões, para efeito de agrupamento das placas com mesmas características, e posteriormente emitir o pedido de fabricação.

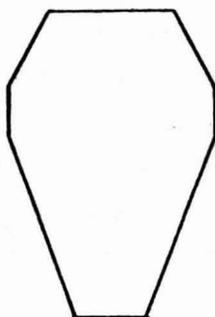
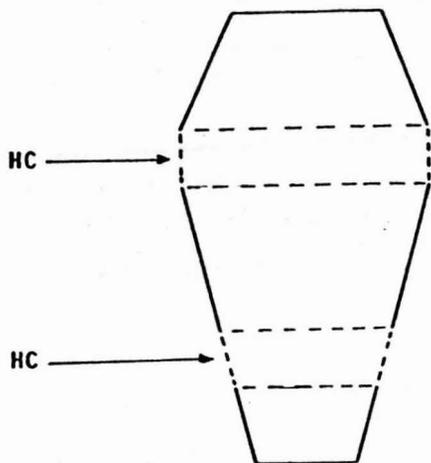
## 6.3. Formação de Chance

Em termos de programação temos várias alternativas de formação de chances. Porém, visando atender aos padrões técnicos de operação (passagens de espessura e largura), concentramos nossa atuação nos seguintes métodos:

a) EM FUNÇÃO DA LARGURA DO PRODUTO

1a Opção: Intercalam<sup>to</sup> em Chan<sup>ce</sup> Normal.

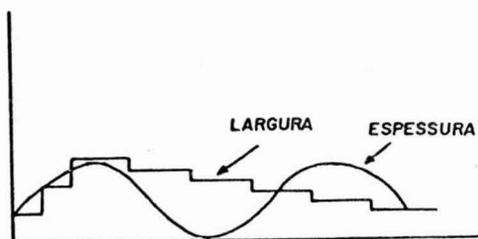
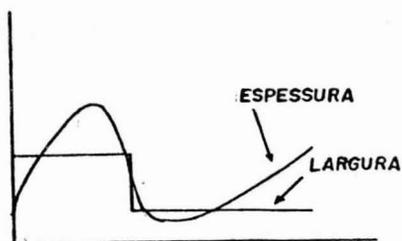
2a Opção: Formação de Chan<sup>ce</sup> Individual.



b) EM FUNÇÃO DA ESPESSURA DO PRODUTO

1a Opção: Crescer a espessura até o máximo desejado, iniciando-se com a menor esp. na faixa de largura seguinte.

2a Opção: Subidas e descidas feitas de acordo com as faixas.



## 7. EQUIPAMENTOS UTILIZADOS NO MANUSEIO E TEMPO DE TRANSPORTE

O manuseio das placas quentes na Aciaria é realizado com utilização de ponte do tipo tenaz, não sendo possível a sua movimentação por eletroimã devido a não magnetização do aço em temperatura superior a 768°C. O transporte do setor de aciaria para a laminação é feito em torno de 8 a 10 minutos por vagão com proteção térmica superficial, para evitar avarias ao mesmo.

Na laminação as placas são recebidas também por ponte tipo tenaz com isolamento térmico, e posteriormente colocadas nas mesas de enformamento que possuem sistema de refrigeração.

## 8. CONSIDERAÇÕES

Além da redução de consumo de combustível, o enformamento a quente ainda propiciou redução de manuseio, de tempo de processamento Aciaria/Expedição, de área para estoque intermediário, bem como sensível melhoria nas condições de laminação, especialmente devido ao maior encharque do material enformado a quente.

## 9. CONCLUSÕES

O processo de enformamento a quente de placas na USIMINAS, em sua fase experimental, mostrou ser possível, em condições industriais, redução de dois por cento no consumo específico mensal de combustível para cinco e meio por cento da produção enformada, com segurança de que a qualidade superficial do produto final foi mantida.

Além disso, o processo a quente de placas propiciou menor manuseio e redução de tempo de processo Aciaria/Laminação.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem as equipes da USIMINAS de Metalurgia da Aciaria, Laminação a Quente e Laminação a Frio, de Operação de Aciaria 2, Forno Contínuo de Tiras a Quente e Manutenção, de Sistema Integrado de Controle da Produção, de Engenharia Industrial e de Transporte Interno e em especial aos Eng<sup>os</sup> Gilberto Vieira, Guilherme Antunes Belumat, Genésio Roberto Barreto e Luiz Sergio Martins.

## BIBLIOGRAFIA

1. TARASOV, B.E; ZAKHAROVA, Z.A; GLUKHOUSKII, E.S.; FEDOROV, Yu. I; & SATANOUSKII, Ya. E. - Technical and economic problems of combining continuously cast billets with rolling production, steel in the USSR, pag. 743, 1974.
2. The Magazine of Metals Producing - Continuously cast thin slab feeds direct to hot strip mill, 1971.
3. Baumann, H.G. - El proceso de colada y laminación continuos del acero - Rev. Metal CENIM, vol.6, 1970.
4. MACRI, E; Laguintara, G.; Finocchiaro, S.; Petty, C. - La minazione diretta treno - slabbing treno-nastri al centro Siderurgico di Taranto - XVII Convegno Nazionale AIM, Milano, 1976.
5. New technique reveals defects in steel slabs at 1000 °C - Industry News, Iron and Steel Engineer, 1979.
6. Atualidades técnicas - siderúrgicas (ATS), Centro de Informações Técnicas (CIT) da USIMINAS, 8/79, 16/80, 19/80, 23/80 e 25/80, Belo Horizonte.
7. Hot Strip Mill in Japan : Tomorrow's technology today - Metal Producing, n. 33, 1980.
8. Relatório EXP. UMP-312/80; Enfornamento a Quente de Placas do L.C. para Laminação em Tiras a Quente, USIMINAS, 1980.
9. OKABE, Hiroshi; Kano, Katsuo; OGAWA, Takatsugu; NARIAI, / Yasumasa; TOKUYAMA, Hiroyuki - Integrat Hot Slab Practice of Flat Rolling at Kashima Steel Works.

TABELA I - Resultado do consumo de combustível por mês em função da percentagem de influência de placas quentes.

DADOS	MÊS		
	MARÇO/81	ABRIL/81	MAIO/81
Ton. de Placas Quentes	4.173,5	9.278,5	7.735,1
Ton. de Placas Quentes + Placas de Influência.	11.171,21	19.066,8	17.089,6
Percentagem de Influência	37,4	48,7	45,3
Número Chances	5	8	6
Ton. Média / Chance	834,7	1.159,8	1.289,2
Consumo Mcal/t	323,7	287,5	290,3

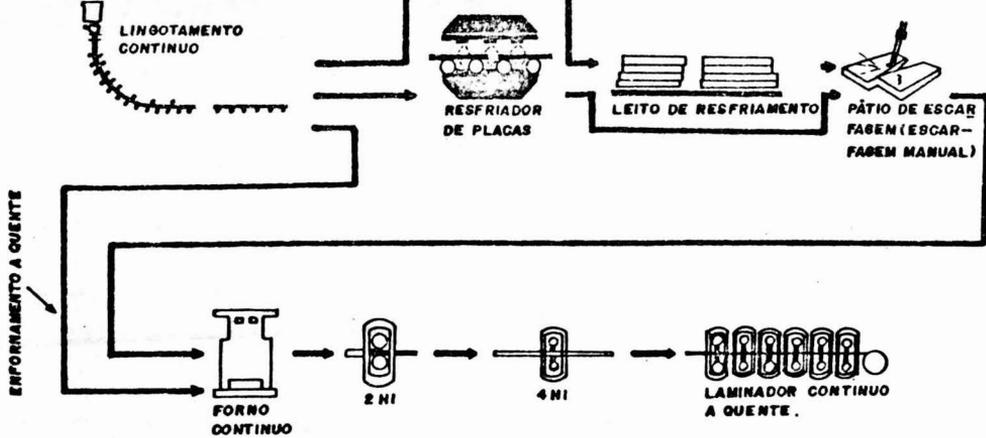


FIG. 1 - FLUXO DO MATERIAL P/ENFORNAMENTO A QUENTE E A FRIO.

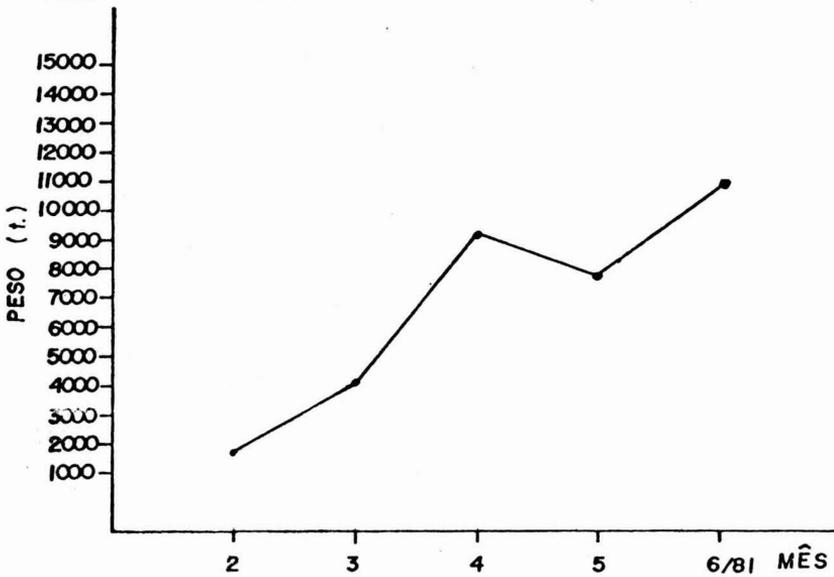


FIG. 2 - EVOLUÇÃO DA PRODUÇÃO PELO PROCESSO DE CARREGAMENTO DE PLACAS QUENTES NA USIMINAS.

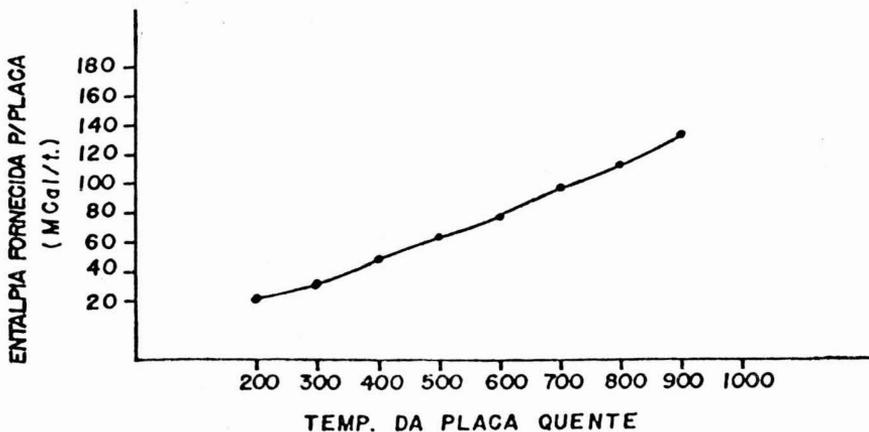


FIG. 3 - REDUÇÃO DE ENTALPIA PARA DIVERSAS TEMPERATURAS DE ENTRADA DA CARGA QUENTE

PERDA DE CALOR

PERDA DE CALOR

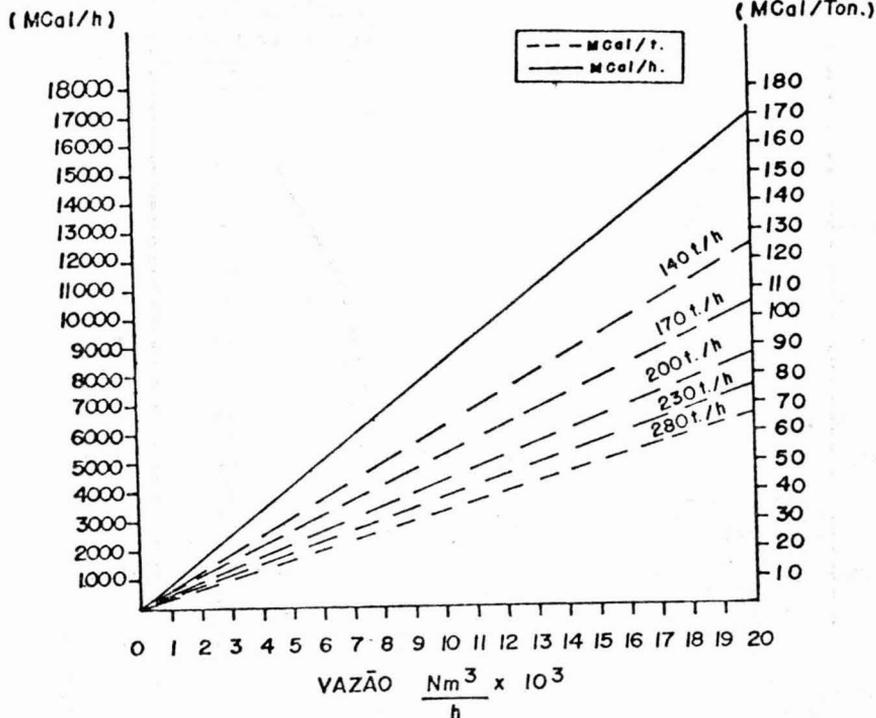


FIG. 4 - PERDA DE CALOR NA EXAUSTÃO DO FORNO PARA DIVERSAS CONDIÇÕES.

CONSUMO DE COMBUSTIVEL  
(MCal/t.)

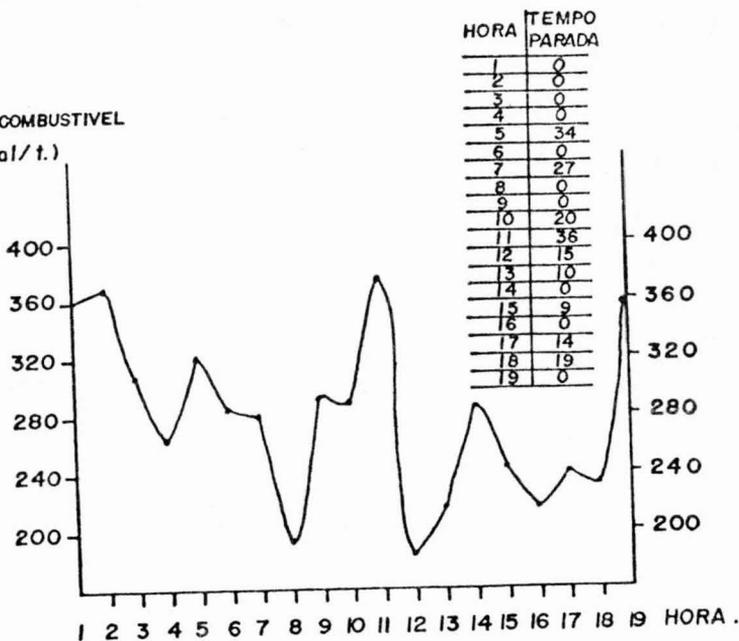


FIG. 5 - EVOLUÇÃO NO CONSUMO DE COMBUSTIVEL EM UMA CHANCE DE 16 hs DE PLACAS QUENTES.



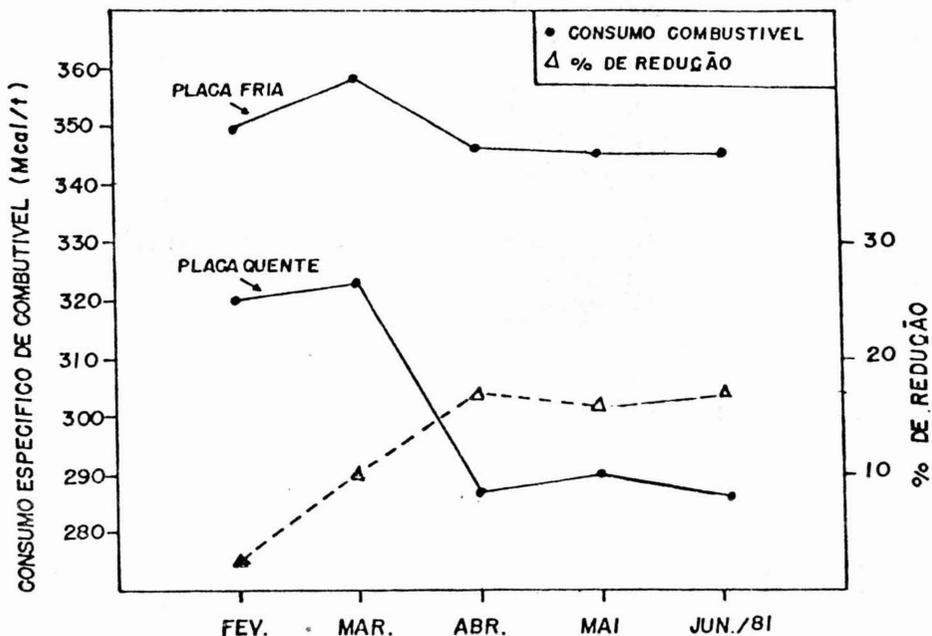


FIG. 7 - EVOLUÇÃO DE CONSUMO DE COMBUSTIVEL POR MÊS, PARA PRODUTOS ENFORNADOS A FRIO E A QUENTE.

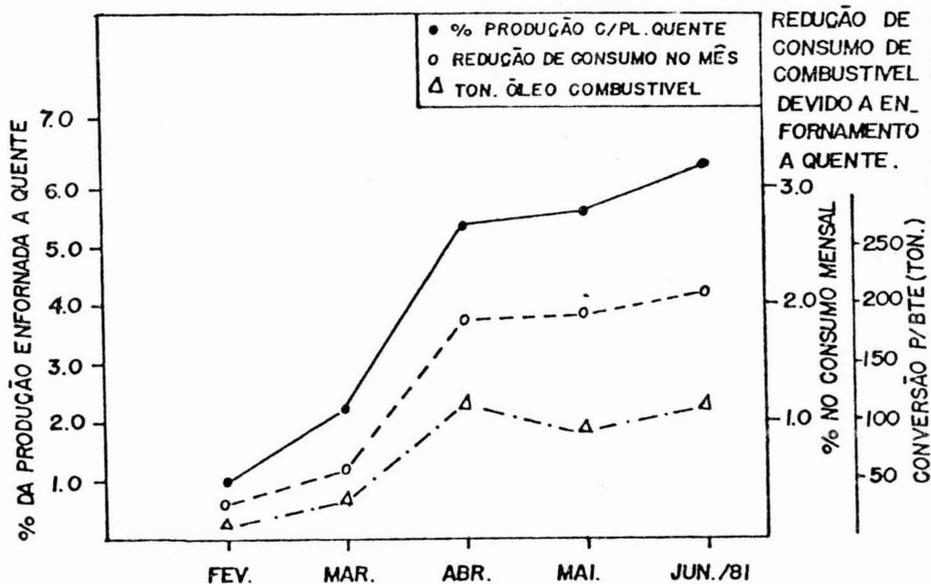


FIG. 8 - EVOLUÇÃO DO PERCENTUAL DA PRODUÇÃO ENFORNADA A QUENTE E A REDUÇÃO DO CONSUMO ESPECÍFICO DE COMBUSTIVEL P/ MÊS.

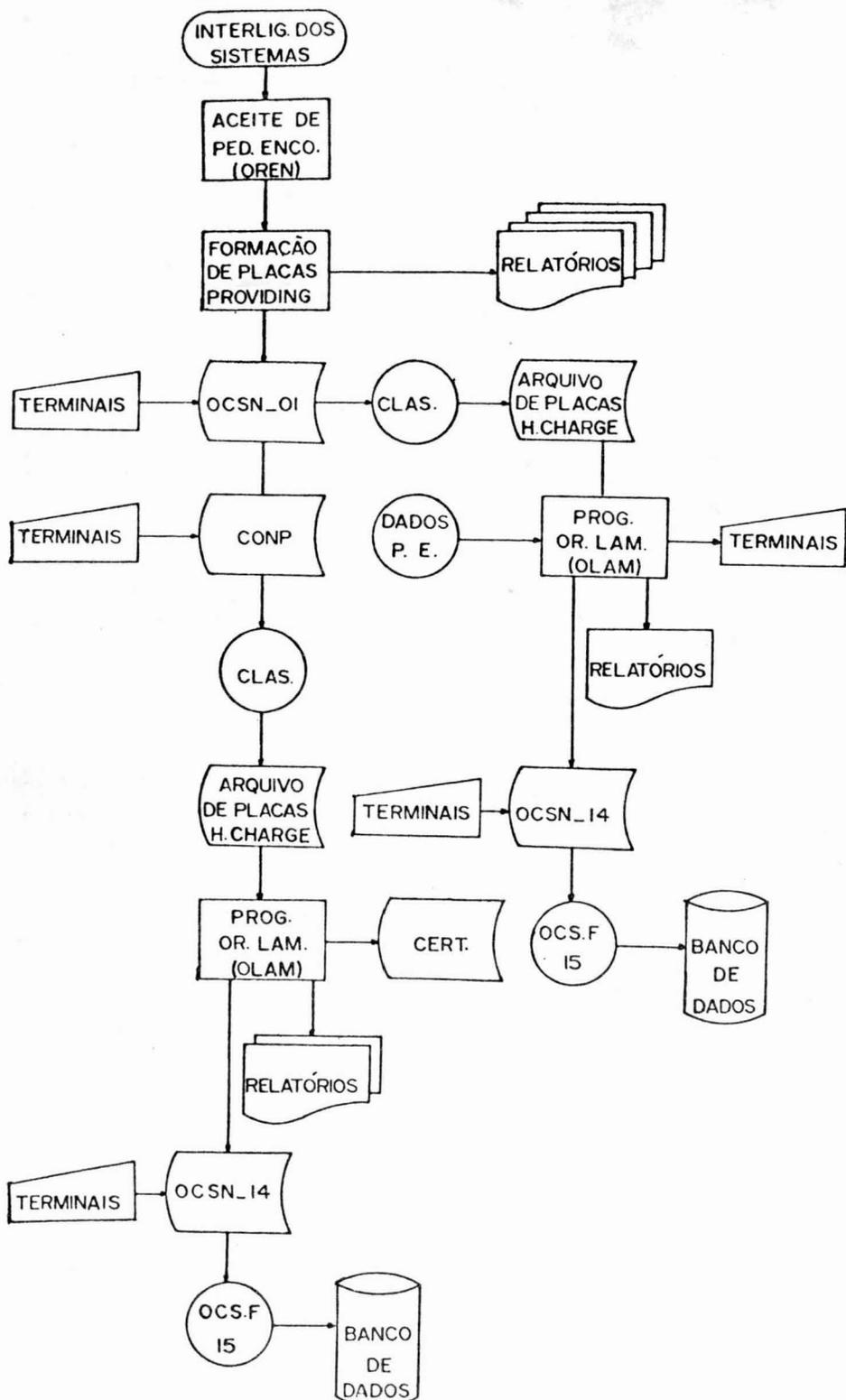


FIG. 9 - FLUXOGRAMA DO SISTEMA INTEGRADO P/ PROGRAMAÇÃO E CONTROLE DA PRODUÇÃO.