

SIMULAÇÃO DA OPERAÇÃO DOS
FORNOS POÇOS DA USIMINAS⁽¹⁾

José Rodrigues Sobrinho⁽²⁾

Lioe Swie Lien⁽³⁾

Everton de Souza Andrade⁽⁴⁾

- (1) - Contribuição Técnica a ser apresentada no XVI Simpósio da COLAM - Niterói - RJ, 1979.
- (2) - Membro da ABM - Engenheiro Metalurgista, Analista de Pesquisa Operacional da Unidade de Pesquisa Operacional da USIMINAS, Ipatinga - MG.
- (3) - Engenheiro Eletricista, Analista Industrial da Unidade de Estudos da Laminação a Quente da USIMINAS, Ipatinga MG.
- (4) - Membro da ABM - Técnico Metalúrgico, Técnico de Análise Industrial da Unidade de Estudos da Laminação a Quente da USIMINAS, Ipatinga - MG.

R E S U M O

Com os avanços científicos no campo dos computadores, a utilização da técnica da Simulação como ferramenta administrativa tem-se tornado mais evidente. Ela permite ao Gerente realizar vários testes em um modelo de simulação que, praticamente, representa o seu sistema. Desta forma ele pode tirar conclusões sem interferir com o seu sistema real, evitando, assim, custos, atrasos e outros riscos indesejáveis.

No presente trabalho nós desenvolvemos um modelo de simulação, o qual foi utilizado para avaliar a capacidade da nossa instalação de rea aquecimento de lingotes.

S U M M A R Y

With the advancements in the field of computer science the use of simulation technique as a management tool has become more evident. It allows the manager to perform various tests using a simulation model, which practically represents his system. This way he can draw conclusions without interfering with his real system which otherwise can result in undesirable costs, delays and other risks.

In the present work we developed a simulation model which was used to calculate the capacity of our ingots reheating installation.

1. INTRODUÇÃO.

A primeira etapa de laminação dos produtos da USIMINAS é realizada no Laminador de Placas onde os lingotes procedentes da nossa aciaria são transformados em placas.

Para a laminação é necessário que os lingotes estejam a uma temperatura uniforme de, aproximadamente, 1200°C.

Para suprir o laminador de lingotes quentes a nossa laminação a quente conta hoje com um conjunto de 6 baterias de fornos poços, totalizando 24 fornos.

Os fornos poços desempenham 3 funções:

- Aquecer as superfícies dos lingotes até a temperatura de laminação, sendo o tempo requerido função do tipo de aço e do tempo de tráfego (ou da temperatura de enforamento).
- Enxarcar os lingotes até que as temperaturas interna e externa estejam uniformes.
- Estocar os lingotes até que o laminador esteja disponível para eles.

Neste trabalho é desenvolvido um modelo de Simulação da nossa instalação de reaquecimento de lingotes com vistas à determinação de sua capacidade para as condições atuais e futuras de produção das Aciarias.

A Simulação é uma técnica que se tornou viável com o advento dos computadores e está permanentemente dependente de progressos no campo de processamento de dados. Apesar disto, ela tem suas principais raízes em duas potencialidades humanas:

- a capacidade de síntese e abstração e
- a arte de criar.

Na verdade muitas simulações podem ser e são feitas sem utilizar nenhum computador pois, simular é representar sob outra forma, transpor. Uma escultura ou uma pintura feita pelo artista plástico assim como o modelo em escala reduzida de uma represa ou de um avião feito por um engenheiro são exemplos reais de simulação. Existem simuladores de cabines de vôo que

permitem o treinamento de pilotos de grandes jatos comerciais, sem os custos e os riscos de um aprendizado no próprio aparelho.

Formalizando esse conceito amplo de simulação existem várias definições das quais citaremos a seguinte:

"Simulação é o processo de elaborar um modelo de um sistema real e conduzir experimentos com esse modelo tendo como propósito a compreensão do comportamento do sistema ou a avaliação de diversas estratégias para a operação do sistema".⁽¹⁾

2. DESCRIÇÃO DO SISTEMA.

Logo após serem produzidas na Aciaria as corridas de aço líquido são lingotadas e entram no período de acalmação, findo o qual os lingotes são estripados, carregados em vagões e transportados para a laminação de placas. Os vagões utilizados no transporte têm capacidade para uma corrida cada um e são puxados por locomotivas.

Ao chegarem na laminação os vagões com os lingotes são deixados dentro do galpão dos fornos poços em uma das duas linhas férreas que existem em frente às baterias, conforme mostra a figura 1.

Para manuseio dos lingotes na área dos fornos poços são utilizados 3 pontes rolantes com tenazes. São estas pontes que enfornam e desenfornam os lingotes.

A medida que os fornos vão ficando disponíveis as corridas são enforçadas obedecendo o critério "LIFO" (Last in, first out) para evitar que vagões vazios fiquem presos no galpão pelos vagões cheios.

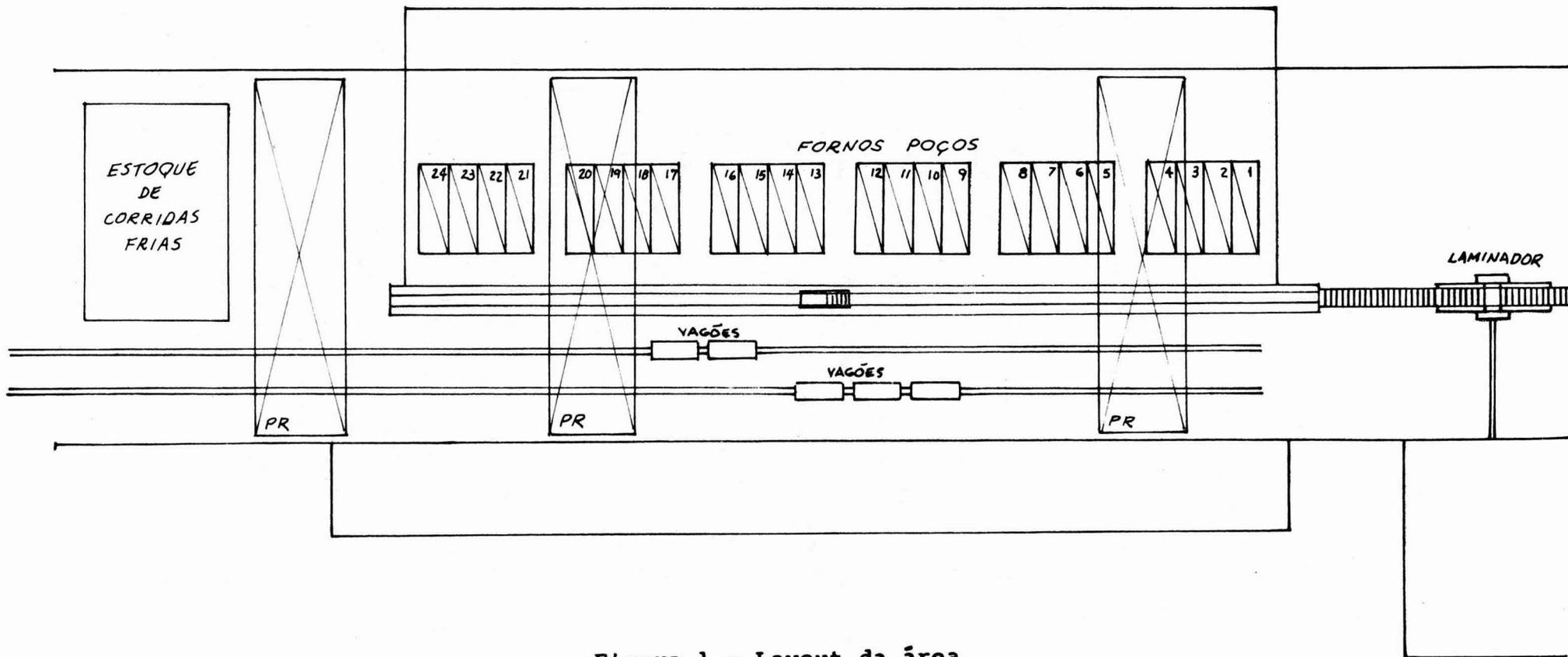


Figura 1 - Layout da área.

O TEMPO DE TRÁFEGO é, por definição, o tempo decorrido desde o término do lingotamento da corrida até o final de seu enforamento.

O padrão de operação de nossos fornos prevê um tempo de forno que depende do tempo de tráfego.

As corridas, de acordo com o tempo de tráfego, são classificadas em 3 tipos:

- Corridas QUENTES

(Tempo de tráfego menor do que 480 minutos)

- Corridas MORNAS

(Tempo de tráfego entre 480 e 1080 minutos)

- Corridas FRIAS

(Tempo de tráfego maior do que 1080 minutos)

Para as corridas QUENTES o tempo de forno é calculado pela seguinte fórmula: $TF = TT + C$

Onde: TF → tempo de forno

TT → tempo de tráfego

C → constante que depende da instalação

Para as corridas MORNAS

TF = 680 minutos

Para as corridas FRIAS

TF = 780 minutos

Quando os lingotes atingem a temperatura adequada eles são desenforados e laminados.

Apesar do grande número de fornos para abastecer o laminador, muitas vezes ocorre que não há nenhuma corrida aquecida, devido à natureza aleatória do processo, e o laminador deverá ficar ocioso. Esta ociosidade é chamada "PARADA POR FALTA DE LINGOTES QUENTES".

Por outro lado, devido ao mesmo motivo, pode ocorrer que

existem mais de uma corrida prontas para serem laminadas e, no entanto, o laminador não estar disponível. As corridas neste caso formam uma fila de corridas aquecidas, permanecendo nos fornos por um tempo maior que o necessário, até que possam ser desenfundadas e laminadas.

Ocasionalmente, quando as corridas provenientes da Aciaria encontram o sistema congestionado (parada para manutenção preventiva ou por quebra), estas deixarão a fila de corridas quentes e serão incorporadas no estoque de corridas frias. As corridas deste estoque serão enfundadas posteriormente, durante estados particulares do sistema.

3. FORMULAÇÃO DO MODELO.

O desenvolvimento desta fase do nosso estudo será baseado em um diagrama denominado DIAGRAMA DE CICLOS DE ATIVIDADES⁽²⁾.

Este diagrama é de grande utilidade para o analista, destacando-se as três seguintes vantagens obtidas com o seu emprego.

- Durante a formulação do modelo ajuda os analistas a entenderem melhor o sistema em estudo.
- Facilita a transcrição do modelo para uma linguagem de computador.
- Por ocasião da etapa de validação do modelo, este diagrama representa um auxílio inestimável durante as discussões dos analistas com o gerente.

Em resumo, o diagrama de ciclos de atividades é um excelente meio de comunicação entre as pessoas envolvidas em um projeto de simulação.

Qualquer sistema é composto de entidades as quais podem ser divididas em classes. As entidades de uma determinada classe, mesmo não sendo necessariamente absolutamente idênticas, tendem a seguir um comportamento similar.

No caso do nosso sistema foram selecionadas as seguintes entidades para compor o modelo:

- Aciaria (área de lingotamento)
- Corridas
- Fornos poços
- Pontes rolantes
- Laminador de placas.

Para cada classe foi desenhado um ciclo mostrando a sequência dos estados pelos quais a entidade passa. Estes estados serão de dois tipos, que chamaremos "Atividades" e "Filas".

Uma ATIVIDADE é, a grosso modo, um estado ativo, o qual é performado por uma ou mais entidades interagindo mutuamente durante um período de tempo.

Uma FILA, por outro lado, representa um estado passivo ou uma espera onde as entidades permanecem durante um certo período.

Por convenção, as atividades são representadas por retângulos e as filas por círculos.

Os ciclos individuais das entidades foram reunidos em uma só figura e obtivemos o diagrama mostrando a seguir.

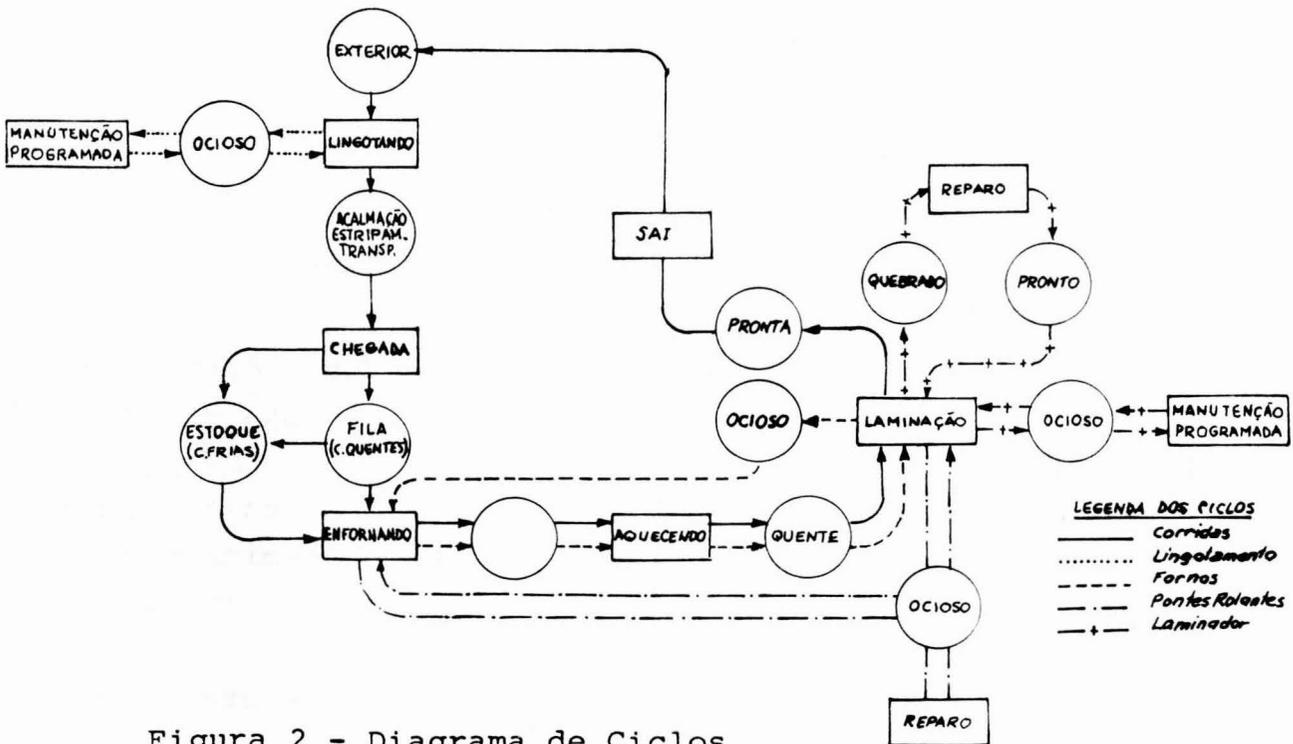


Figura 2 - Diagrama de Ciclos.

No diagrama anterior foi considerado como exterior todas as etapas por que passam as corridas antes da etapa de lingotamento e após a etapa de laminação.

Passemos, então, a descrição do diagrama anterior:

Havendo uma corrida no exterior (convertedor) pronta para entrar no sistema e estando ociosa a área de lingotamento, esta recebe a corrida e é iniciada a atividade "LINGOTANDO". Ao término desta atividade a corrida entra para a fase de "ACALMAÇÃO, ESTRIPAMENTO E TRANSPORTE" e o lingotamento volta a ser ocioso. Vencido o prazo estabelecido para acalmação, estripamento e transporte acontece a atividade "CHEGADA" da corrida na laminação. Neste ponto duas coisas podem acontecer com a corrida; se a laminação estiver em manutenção programada a corrida vai para o "ESTOQUE" de corridas frias, senão a corrida vai para a "FILA 1" (de corridas quentes). Pode acontecer que a corrida estando na Fila 1 tenha que ser transferida para o estoque de corridas frias devido a ocorrência de paradas na linha de laminação. A atividade seguinte do diagrama é a "ENFORNANDO" que se inicia quando forem satisfeitas as três seguintes condições: ter corrida esperando (na fila 1 ou no estoque); ter ponte ociosa e ter forno ocioso. Terminado o enforramento da corrida a ponte rolante é liberada e volta a ser ociosa; ao mesmo tempo é iniciada a atividade "AQUECENDO" que envolve o forno e a corrida. Em seguida temos a etapa denominada "QUENTE" e que representa a fila de fornos com corridas prontas para serem laminadas. Seguindo o fluxo temos a "LAMINAÇÃO". Esta atividade se inicia quando o laminador e uma ponte estiverem ociosos e tiver um forno com corrida quente. Terminada a laminação são liberados o laminador, um forno e uma ponte que voltam a ser ociosos e a corrida fica pronta e sai do sistema. Além deste ciclo principal o diagrama mostra também o ciclo de reparo das pontes e do laminador bem como os de manutenção programada do laminador e do lingotamento.

A partir do diagrama de ciclos de atividades anterior foi relativamente fácil determinar os eventos da nossa simulação. Isto porque, no diagrama, a passagem de uma entidade (ou transação) de uma atividade para uma fila é determinada, ou se

realiza através de um evento. Por outro lado, a passagem da entidade de uma fila para uma atividade pode ser, a critério do analista, representada por um evento ou por uma atividade condicional.

Dentro deste princípio nós definimos para o nosso modelo os seguintes eventos:

- Fim de lingotamento
- Chegada de corrida na laminação
- Fim de enformamento
- Fim de aquecimento
- Fim de laminação
- Início de manutenção do convertedor
- Fim de manutenção do convertedor
- Início de manutenção do laminador
- Fim de manutenção do laminador
- Início de reparo de ponte rolante
- Fim de reparo de ponte rolante
- Início de reparo do laminador
- Fim de reparo do laminador
- Fim da simulação.

As demais passagens fila/atividade foram consideradas atividades condicionais.

A partir daí construímos o diagrama de blocos para a simulação do modelo conforme mostramos na figura 3.

Para processar os testes com o nosso modelo em computador foi escrito um programa utilizando a linguagem de simulação XLSIM.⁽³⁾

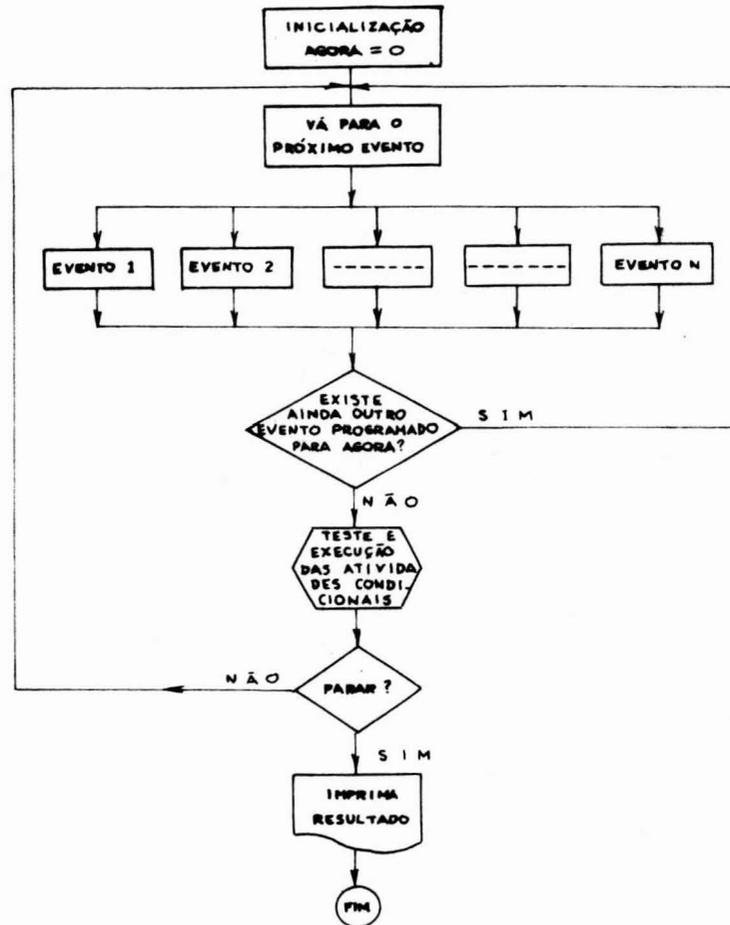


Figura 3 - Diagrama de Blocos.

4. DADOS PARA A PROGRAMAÇÃO.

Para maior aproximação do modelo à realidade foram levantados vários tempos de operação do sistema real. Estes dados serão mostrados a seguir em forma de histogramas de distribuição de frequência (figuras de 4 a 9).

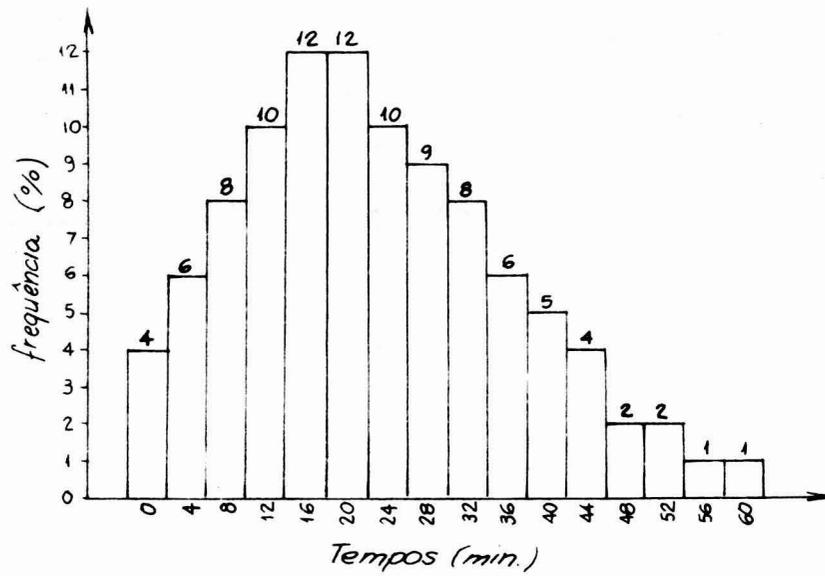


Figura 4 - Intervalos entre fins de lingotamento.

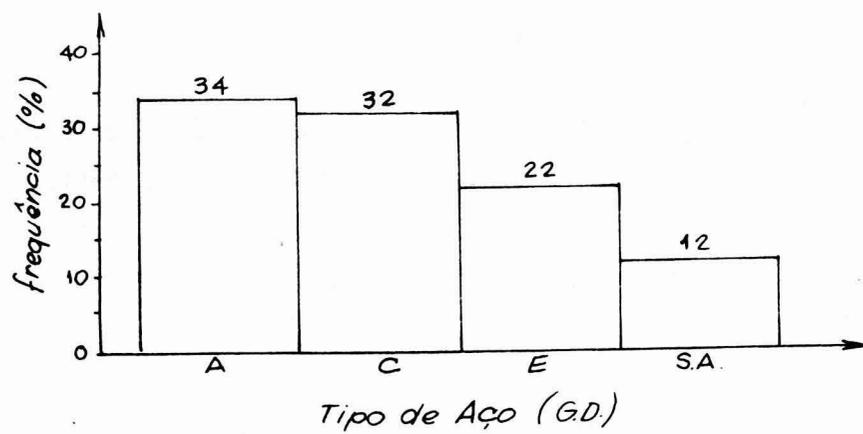


Figura 5 - Percentagens dos diversos tipos de aço na produção.

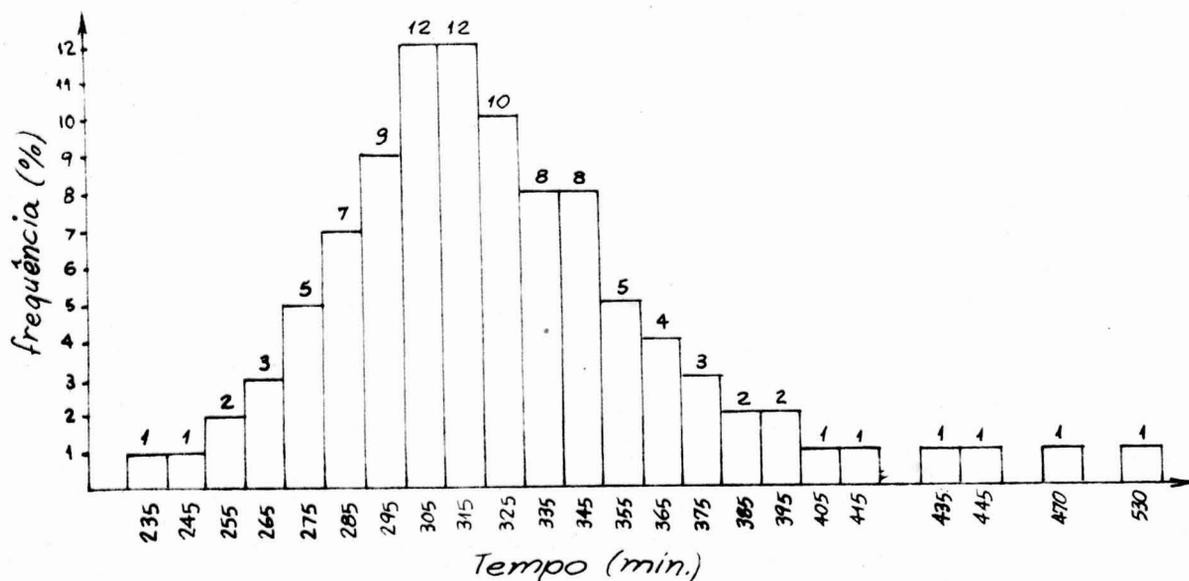


Figura 6 - Tempos de Tráfego Parciais (*) para corridas de aço acalado.

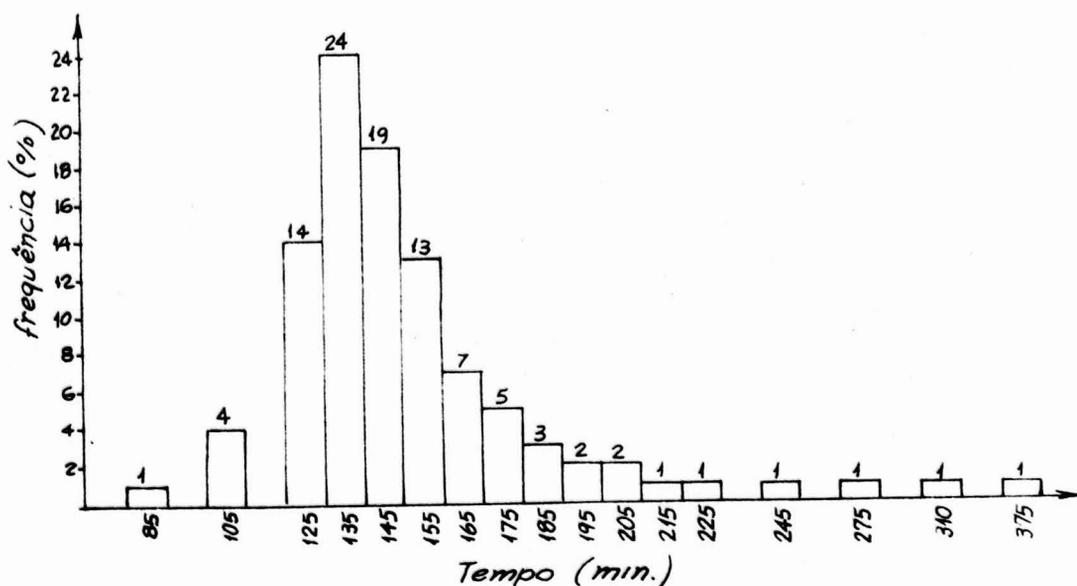


Figura 7 - Tempos de Tráfego (*) para corridas de aço ca-
peado.

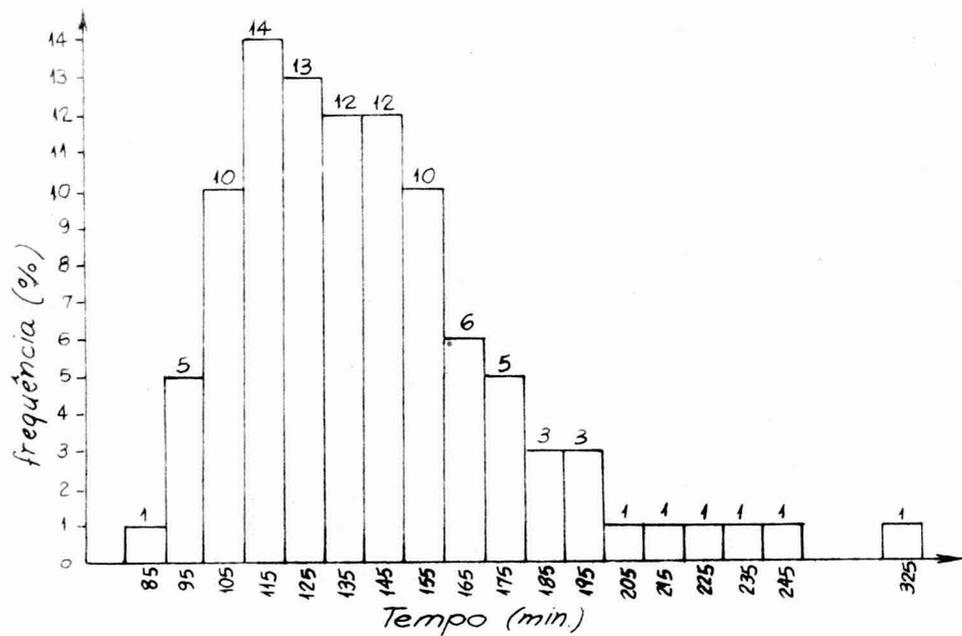


Figura 8 - Tempos de Tráfego Parciais (*) para corridas de aço efervescente.

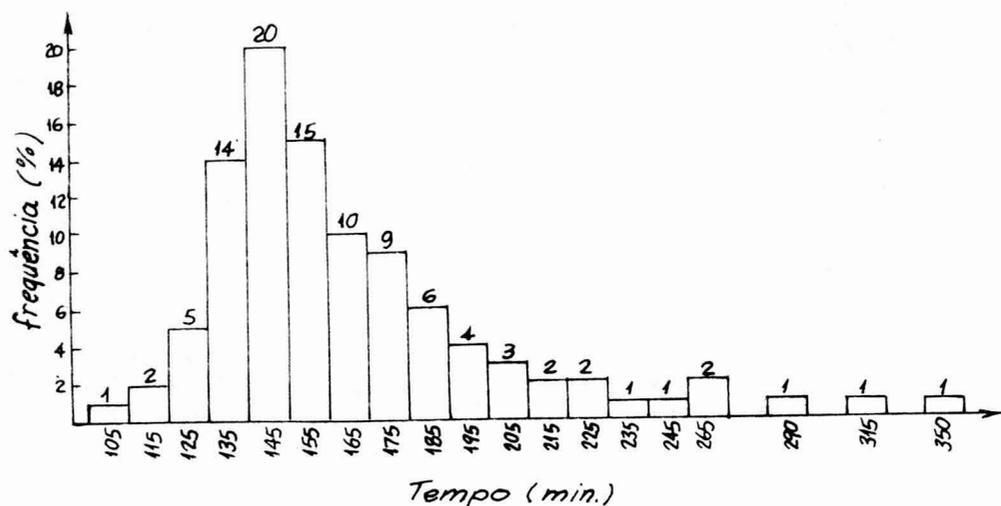


Figura 9 - Tempos de Tráfego Parciais para corridas de aço semi-acalmado.

(*) Tempo de Tráfego Parcial + Acalmação + Estripamento + Transporte

Para os demais tempos envolvidos no sistema foram consideradas as seguintes distribuições:

- Tempo de Enfornamento de uma Corrida Quente
Distribuição Normal - média (\bar{x}) = 8 min, $\sigma = 1$ min.
- Tempo de Enfornamento de uma Corrida Fria
Distribuição Normal - $\bar{x} = 12$ min, $\sigma = 1$ min.
- Tempo de Laminação de uma Corrida
Distribuição Normal - $\bar{x} = 13$ min, $\sigma = 1$ min.
- Duração do Reparo do Laminador
Distribuição Exponencial - $\bar{x} = 30$ min.

5. EXPERIMENTAÇÕES COM O MODELO.

O nosso programa foi estruturado de forma a fornecer estatísticas a respeito das seguintes variáveis do sistema:

- Número de corridas recebidas
- Número de corridas laminadas
- Número de corridas na fila para enfornar
- Número de corridas frias no estoque
- Número de esperas de aquecimento
- Número de esperas de laminação
- Tempo de espera de aquecimento
- Tempo de espera de laminação.

Estas informações são fornecidas em forma de histogramas conforme pode-se ver pela figura 10, onde é mostrado o relatório de saída do programa para a operação com 20 fornos poços.

Conforme já dissemos anteriormente a nossa instalação de reaquecimento de lingotes consta de 6 baterias de 4 fornos cada uma, totalizando 24 fornos. Geralmente temos uma bateria pa-
rada para reforma, e a operação é feita com apenas 20 fornos.

RESULTADOS DA SIMULACAO

TEMPO SIMULADO = 300145 CERRIGAS LAMINADAS = 1242 PRODUCAO = 139317704

CORRIGIDAS RECEBIDAS = 1873 INDICE DE FUNC. CD LAMINADA = 55.91

ESTADISTICA DA FILA DE LINGOTES CUENTES

*** IMPRESSAO DA ESTATISTICA ***** 170650

AMOSTRA TAMANHO = 43193 NENHO = 0 MAIOR = 5

 MEDIA = 0.9289 DESVIO PADRAO = 1.5126

| HISTOGRAMA | INTERVALO | FREQUENCIA |
|------------|-----------|------------|
| | 1 - 2 | 5 |
| | 2 - 3 | 8 |
| | 3 - 4 | 4 |
| | 4 - 5 | 4 |
| | 5 - 6 | 4 |
| | 6 - 7 | 0 |
| | 7 - 8 | 0 |
| | 8 - 9 | 0 |
| | 9 - 10 | 0 |
| | 10 - 11 | 0 |
| | 11 - 12 | 0 |
| | 12 - 13 | 0 |
| | 13 - 14 | 0 |
| | 14 - 15 | 0 |
| | 15 - 16 | 0 |
| | 16 - 17 | 0 |
| | 17 - 18 | 0 |
| | 18 - 19 | 0 |
| | 19 - 20 | 0 |

ESTADISTICA DOS TEMPOS DE ESPERA DE ACUCIENHO

*** IMPRESSAO DA ESTATISTICA ***** 79203

AMOSTRA TAMANHO = 707 NENHO = 1 MAIOR = 26

 MEDIA = 0.0042 DESVIO PADRAO = 5.6942

| HISTOGRAMA | INTERVALO | FREQUENCIA |
|------------|-----------|------------|
| | 1 - 2 | 17 |
| | 2 - 3 | 14 |
| | 3 - 4 | 10 |
| | 4 - 5 | 10 |
| | 5 - 6 | 9 |
| | 6 - 7 | 7 |
| | 7 - 8 | 4 |
| | 8 - 9 | 3 |
| | 9 - 10 | 3 |
| | 10 - 11 | 1 |
| | 11 - 12 | 2 |
| | 12 - 13 | 1 |
| | 13 - 14 | 1 |
| | 14 - 15 | 1 |
| | 15 - 16 | 1 |
| | 16 - 17 | 1 |
| | 17 - 18 | 1 |
| | 18 - 19 | 0 |
| | 19 - 20 | 0 |
| | 20 - 21 | 0 |
| | 21 - 22 | 0 |
| | 22 - 23 | 0 |
| | 23 - 24 | 0 |
| | 24 - 25 | 0 |
| | 25 - 26 | 0 |
| | 26 - 27 | 0 |
| | 27 - 28 | 0 |
| | 28 - 29 | 0 |
| | 29 - 30 | 0 |

ESTADISTICA DOS TEMPOS DE ESPERA DE LAMINACAO

*** IMPRESSAO DA ESTATISTICA ***** 29247

AMOSTRA TAMANHO = 1354 NENHO = MAIOR = 269

 MEDIA = 23.5390 DESVIO PADRAO = 57.3825

| HISTOGRAMA | INTERVALO | FREQUENCIA |
|------------|-----------|------------|
| | 4 - 8 | 13 |
| | 8 - 12 | 14 |
| | 12 - 16 | 13 |
| | 16 - 20 | 8 |
| | 20 - 24 | 5 |
| | 24 - 28 | 4 |
| | 28 - 32 | 3 |
| | 32 - 36 | 2 |
| | 36 - 40 | 2 |
| | 40 - 44 | 2 |
| | 44 - 48 | 1 |
| | 48 - 52 | 1 |
| | 52 - 56 | 0 |
| | 56 - 60 | 0 |
| | 60 - 64 | 0 |
| | 64 - 68 | 0 |
| | 68 - 72 | 0 |
| | 72 - 76 | 0 |
| | 76 - 80 | 0 |
| | 80 - 84 | 0 |
| | 84 - 88 | 0 |
| | 88 - 92 | 0 |
| | 92 - 96 | 0 |
| | 96 - 100 | 0 |

Figura 10 - Relatório de saída do programa.

Uma outra situação possível seria a instalação de uma nova bateria para podermos manter constantemente 24 fornos em operação.

Para analisar a capacidade do sistema para as duas situações anteriores fizemos uma série de testes com o nosso modelo, variando o nível de produção da Aciaria e verificando as produções correspondentes da Laminação operando com 20 e 24 fornos.

A variação do nível de produção da Aciaria foi obtida com a introdução de uma constante para correção dos intervalos entre corridas.

O resultados destes testes foram plotados em um gráfico conforme mostra a figura abaixo:

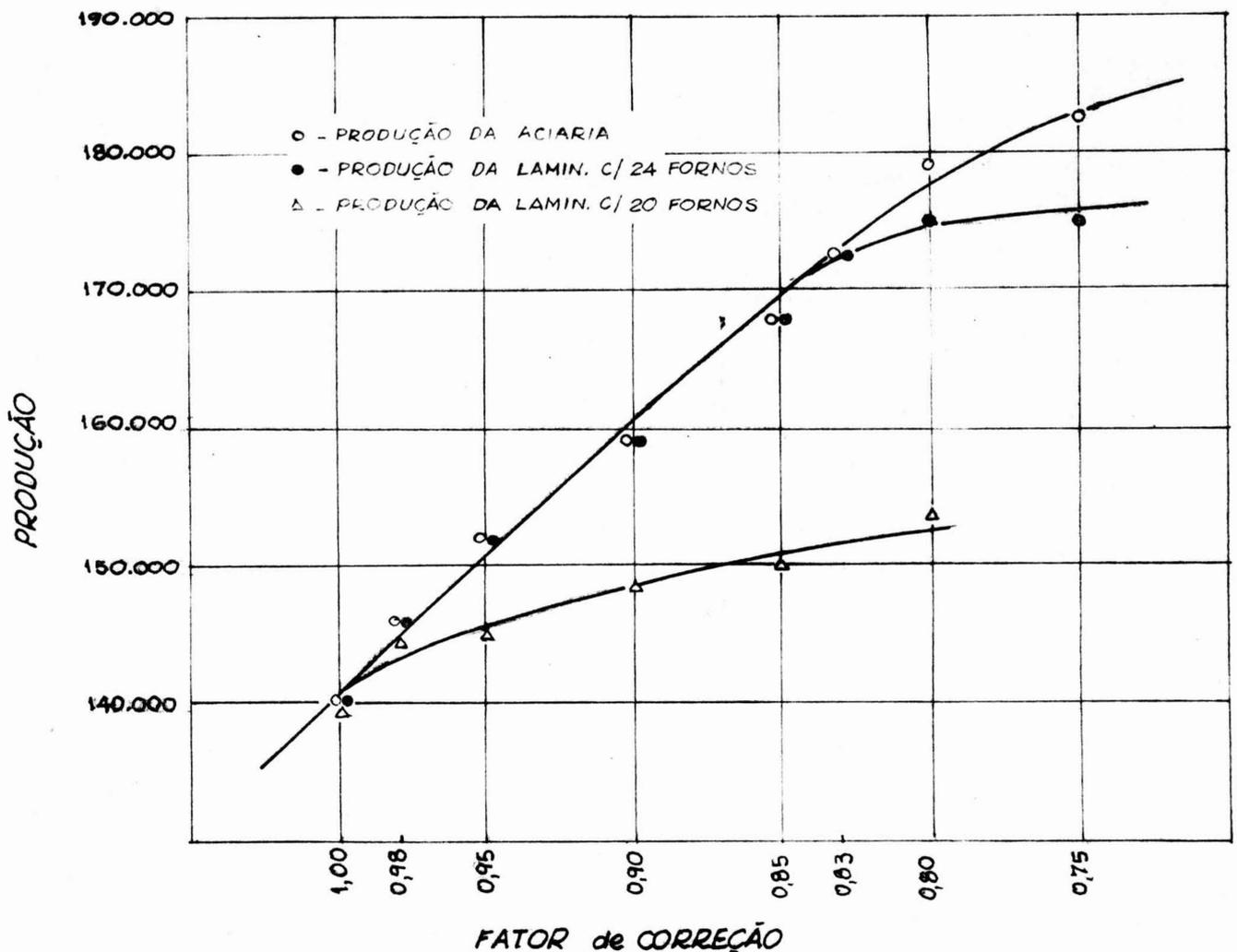


Figura 11. Resultados da Simulação.

O gráfico anterior nos mostra que operando com 20 fornos a laminação tem capacidade de absorver toda a produção da Aciaria até ser atingido o nível de aproximadamente, 142.000t/mês. Por outro lado a operação com 24 fornos eleva esta capacidade para cerca de 172.000t/mês.

No quadro I estão resumidos os demais dados obtidos com os testes.

Conforme foi visto aqui a determinação da capacidade foi feita apenas em função do número de fornos em operação, mas o nosso modelo nos permite fazer ainda várias outras experimentações para determinar a influência de outras situações tais como, variação nas proporções de produção dos diversos tipos de aço, variação dos tempos de tráfego, mudança de padrões de aquecimento, novas políticas de utilização de pontes rolantes, etc.

O modelo poderá, ainda, ser utilizado para fazer previsão do estoque de corridas frias que será formado por ocasião de grande parada para reforma da linha de laminação bem como para determinar o tempo necessário para a linha absorver o referido estoque, após concluída a reforma.

| NÍVEL DE PRODUÇÃO DA ACIARIA(t/MÊS) | NÚMERO DE FORNOS EM OPERAÇÃO | NÍVEL DE PRODUÇÃO DA LAMINAÇÃO(t/MÊS) | ÍNDICE DE FUNCIONAMENTO LAMINADOR % | % CORRIDAS QUE ESPERAM O LAMINADOR | TEMPO MÉDIO ESPERA (min) | % CORRIDAS QUE ATRAZAM O LAMINADOR | TEMPO MÉDIO ATRAZO (min) |
|-------------------------------------|------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|--------------------------|------------------------------------|--------------------------|
| 140.000 | 20 | 140.000 | 56 | 62 | 23,5 | 38 | 6,0 |
| 146.000 | | 144.500 | 58 | 63 | 23,0 | 37 | 5,84 |
| 152.000 | | 149.000 | 58 | 65 | 22,7 | 35 | 5,75 |
| 159.000 | | 148.500 | 60 | 65,4 | 22,4 | 34,6 | 5,67 |
| 166.200 | | 150.000 | 60,5 | 66,8 | 21,0 | 33,2 | 5,26 |
| 179.300 | | 153.800 | 61,8 | 67 | 21,9 | 33 | 4,93 |
| 159.000 | 24 | 159.000 | 64,2 | 71,2 | 29,0 | 28,8 | 5,16 |
| 166.200 | | 166.200 | 68 | 75,3 | 28,6 | 24,7 | 4,92 |
| 169.700 | | 172.100 | 69,2 | 76,6 | 28,4 | 23,4 | 4,87 |
| 179.300 | | 175.700 | 70,7 | 77,5 | 28,1 | 22,5 | 4,82 |
| 185.300 | | 176.080 | 71 | 77,7 | 28,0 | 22,3 | 4,80 |

Quadro I - Resumo dos resultados obtidos.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.

A simulação é um meio de se experimentar idéias e conceitos sob condições que estariam além das possibilidades de se testar na prática, devido ao custo, demora ou risco envolvidos.

É uma técnica para se acumular experiência e tirar conclusões da mesma. O resultado pode vir a ser o desenvolvimento de um sistema novo e mais aperfeiçoado ou a proposição de vários sistemas possíveis. Também podemos chegar a um método melhor de operação de um sistema em funcionamento.

7. BIBLIOGRAFIA.

- (1) - SHANON, Robert E. - "Systems Simulation - The Art and Science" - Prentice - Hall, Inc. (1975).
- (2) - CLEMENTSON, A.T. - "Extended Control and Simulation Language - ECSL/Computer Aided Programming System - CAPS/' Detailed Reference Manual" - University of Birmingham (1974).
- (3) - CARVALHO, R.S. e SALIBY, E. - "Linguagem de Simulação XLSIM" - Programa de Administração, COPPE, UFRJ, (1976).

