

ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

Departamento de Engenharia de Minas

PMI 500 - TRABALHO DE FORMATURA

SISTEMA COMPUTADORIZADO PARA AJUSTE E FECHAMENTO DE

BALANÇO DE MASSAS E METALÚRGICO - MÉTODO ITERATIVO

PAULO FERNANDO DE TOLEDO DAMASCENO

Orientadores: M.Sc.Eng. Antonio Carlos Nunes
(Mineração Taboca S.A.)

Prof. Dr. Arthur P. Chaves
(EPUSP - Depto. de Minas)

SÃO PAULO, NOVEMBRO DE 1992.

TF-1992

D18A

Sysno 1462495

ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE MINAS

RNT 266 - TRABALHO DE FORMATURA

SISTEMA COMPUTADORIZADO PARA AJUSTE E FECHAMENTO DE

BALANÇO DE MASSAS E METALÚRGICO - MÉTODO ITERATIVO

PAULO FERNANDO DE TOLEDO DAMASCENO

Orientadores: M.Sc. Eng. Antônio Carlos Nunes
(Mineração Taboas S.A.)

Prof. Arthur P. Chaves
(Eng. Metal. de Minas)

M 1992 E

DEDALUS - Acervo - EPMI



31700005438

RESUMO

O presente trabalho tem por finalidade apresentar um novo "software" para para efetuar o fechamento e o ajuste do balanço de massas e metalúrgico de uma usina de beneficiamento de minério através de métodos iterativos

São descritos o algoritmo empregado, a rotina de solução, a descrição básica do software e um estudo de caso.

ABSTRACT

This paper presents a new developed software to calculate and adjust mass and metallurgical balances of an ore dressing plant using an iterative method.

The algorithm and the solution routine are described in this paper.

A software basic description and a case study are also presented.

ÍNDICE

- I. INTRODUÇÃO
- II. CÁLCULO DA PARTIÇÃO DA MASSA
- III. MÉTODOS MATEMÁTICOS PARA AJUSTE DE BALANÇO DE MASSA
- IV. MÉTODO DE SOLUÇÃO DE SISTEMA
- V. DESCRIÇÃO BÁSICA DO MÉTODO DE AJUSTE PROPOSTO
- VI. ROTINA DE SOLUÇÃO
- VII. ESTUDO DE CASO
- VIII. CONCLUSÃO
- IX. BIBLIOGRAFIA
- X. LISTAGEM DO PROGRAMA

SÍMBOLOS E NOMENCLATURA

w_j^*	Valor real da vazão no fluxo j , $j=1,2,\dots,n$.
x_j^*	Valor real da análise de um componente no fluxo j .
w_j	Valor experimental da vazão no fluxo j .
x_j	Valor experimental da análise de um componente.
$\hat{w}_j$	Valor ajustado da vazão no fluxo j .
$\hat{x}_j$	Valor ajustado da análise do componente no fluxo j .
$\tilde{w}_j$	Valor da variável de busca para a vazão.
$\tilde{x}_j$	Valor da variável de busca para a análise de componente.
θ	relação entre duas vazões em uma determinada partição.
d_i	resíduo da equação de partição de massa.
E	símbolo da somatória.
s_{wj}	desvio padrão da vazão w_j .
s_{xj}	desvio padrão da análise do componente x_j .
λ	multiplicador de Lagrange.
P_i	fator de ponderação.
r_i	i -ésimo ponto de dado medido.
$\hat{r}_i$	i -ésimo ponto de dado ajustado.
S_j^2	variância associada ao j -ésimo elemento de fluxo.
DW	diferença entre os valores experimental e calculado da vazão.
M	matriz que caracteriza o fluxograma de processo.
m_{ij}	elemento da linha i coluna j da matriz M .

I. INTRODUÇÃO

O balanço de massas calculado a partir de dados medidos nos vários locais de uma unidade de processos é a ferramenta fundamental para muitos objetivos, tais como medida de desempenho da usina, qualidade e controle de produtos, controle de processos, avaliação econômica de processos alternativos, ensaios de bancada e escala piloto e projeto de usinas (01).

Os estudos começam invariavelmente pela tomada de medidas, porém na realidade industrial, como as usinas em geral são pouco instrumentadas e há uma considerável falta de informações sobre o estado do processo, apenas algumas variáveis podem ser medidas e estas, na maioria das vezes, têm que ser feitas através de análises químicas e/ou físicas. Segundo Gy (02), a medida experimental destas variáveis está sujeita a erros provenientes de várias fontes, e que acabam por não satisfazer os princípios do balanço de massas, ou seja, o da conservação total da massa e o da conservação após o material sofrer transformações físicas.

Quando as informações necessárias não estão disponíveis, o método usual aplicado é fazer medidas da vazão, apenas para alimentação e produto final, e ajustar os valores restantes. Às vezes, as vazões nos demais fluxos são calculadas a partir de outras características medidas, tais como análise de teores ou granulometria, em amostras retiradas em pontos apropriados.

O uso de métodos matemáticos para o fechamento de balanços de massa e o ajuste de dados não dispensa o conhecimento técnico por parte de quem formula a solução, pois é necessária

uma análise crítica das respostas, que poderão ser corretas do ponto de vista matemático, mas nem sempre serão verdadeiras no que se refere ao tratamento de minerais. Sempre, porém, o uso de um programa computacional proporcionará velocidade ao processo e ganho de tempo (03).

Técnicas de fechamento de balanço de massas são, portanto, ferramentas muito úteis para obter sistematicamente a imagem do estado do processo. Estes procedimentos são de grande valor para o conhecimento do processo e para o desenvolvimento de modelos, enquanto diminuem a quantidade de experimentos necessários para obter a informação desejada. Elas são também ferramentas valiosas para determinar melhores condições operacionais e melhorar a economicidade da usina e a qualidade dos resultados.

Este trabalho mostra o modo como um computador pode ser usado para gerar o fechamento do balanço de massas para um dado fluxograma de processo, com base em dados experimentais através de várias iterações e verificações de convergência.

O programa proposto é baseado na técnica dos mínimos quadrados, utilizando-se os multiplicadores de Lagrange e o método de eliminação de Gauss como ferramentas de solução do sistema linear montado.

Assim como o balanço de massas, o algoritmo ora proposto, permite também a conciliação do balanço metalúrgico.

Este programa surgiu de sugestões feitas pelo Professor Dr. Arthur Pinto Chaves como implemento ao Sistema Computadorizado para Ajuste de Balanço de Massa e Metalúrgico

desenvolvido em linguagem C para a defesa de tese de mestrado do Eng. Antonio Carlos Nunes - Sistema Computadorizado para Ajuste de Balanço de Massas e Metalúrgico, porém neste trabalho apresentamos sua versão escrita em Turbo Pascal.

A opção pela programação em Turbo Pascal está no fato da linguagem ser bem estruturada e de fácil escrita, apesar de oferecer menos recursos que a linguagem C.

II. CÁLCULO DA PARTIÇÃO DA MASSA

O método tradicional de cálculo da partição de massa, em uma operação unitária, é conhecido como regra dos n produtos e consiste em calcular as n variáveis correspondentes às vazões dos produtos.

O caso mais simples ocorre quando se tem apenas um produto, figura 1, e as equações são:

$$W_1 = W_2 ,$$

$$W_1 X_1 = W_2 X_2 .$$

onde:

W_j = vazão no fluxo j ,

X_j = análise de um componente do fluxo j .

Esse componente pode ser um teor, uma faixa granulométrica, a porcentagem de sólidos ou outro parâmetro eventualmente disponível.



Figura 1: Uma operação unitária I, com um fluxo de alimentação e um de produto.

Para calcular, digamos, W_2 é necessário apenas conhecer W_1 e nenhuma análise (química, granulométrica, % de sólidos) de X_j é necessária. Se, no entanto, conhecermos X_2 , pode-se calcular X_1 e vice-versa. Em ambos os casos, o valor da variável calculada contém o mesmo erro que o da variável medida.

Com dois produtos, o problema corresponde à figura 2 e as equações válidas são:

$$W_1 = W_2 + W_3 ,$$

$$W_1 X_1 = W_2 X_2 + W_3 X_3 .$$



Figura 2: Uma operação unitária I, com um fluxo de alimentação e dois de produto.

Pode-se calcular o sistema de equações, se tivermos, no máximo, duas incógnitas, geralmente W_2 e W_3 :

$$W_3 = \frac{X_1 - X_2}{X_3 - X_2} * W_1 \quad \text{e} \quad W_2 = \frac{X_1 - X_3}{X_2 - X_3} * W_1 .$$

Para três produtos, de acordo com a figura 3, as equações válidas são:

$$W_1 = W_2 + W_3 + W_4 ,$$

$$W_1 X_1 = W_2 X_2 + W_3 X_3 + W_4 X_4 .$$

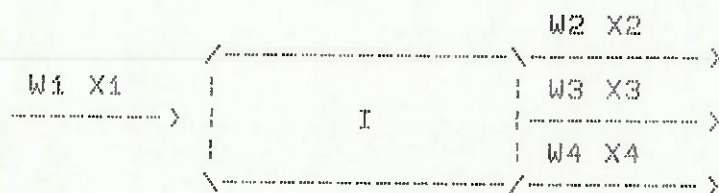


Figura 3: Uma operação unitária I, com um fluxo de alimentação e três de produto.

Se os fluxos correspondentes aos produtos devem ser calculados, deve-se medir um segundo X_j' em todos os fluxos de

modo a obter a terceira equação:

$$W_1 X_1' = W_2 X_2' + W_3 X_3' + W_4 X_4' .$$

Por combinação das 3 equações, determina-se:

$$\frac{W_4}{W_1} = \frac{(X_1' - X_2')(X_4 - X_2) + (X_1 - X_2)(X_2' - X_4')}{(X_3' - X_2')(X_4 - X_2) + (X_3 - X_2)(X_2' - X_4')}$$

e as outras vazões, W_3 e W_2 , por permutação.

Generalizando-se os casos acima, para n produtos, o problema pode ser resolvido se forem feitas $n-1$ análises de componentes diferentes em cada fluxo. Quando n cresce, o método de substituição para resolver o sistema torna-se demorado e trabalhoso.

Para estabelecer a partição, três tipos de variáveis devem ser consideradas:

1. Os valores experimentais (sem marcação), que são conhecidos com uma certa precisão, mas não são auto-consistentes, ou seja, por si só eles não satisfazem a lei de conservação de massas.
2. Os valores ajustados (que serão denotados por $\hat{}$), que são numericamente auto-consistentes e podem ser obtidos a partir das medidas experimentais.
3. Os valores reais (que serão denotados por $\ast$), que são auto-consistentes, mas não podem ser obtidos a partir das medidas experimentais.

Tomando o caso dos dois produtos, tem-se que $W_1\ast$, $W_2\ast$, $W_3\ast$ são os valores reais das vazões da alimentação e dos produtos de um processo de separação. Os componentes dos fluxos

são designados X_{1i}^* , X_{2i}^* e X_{3i}^* , respectivamente, onde $i = 1$ até n , e é o mesmo componente para um valor particular de i , mas podem ser vários componentes em cada fluxo. O processo pode ser escrito:

$$W_1^* (X_{1i}^*) = \frac{W_2^* (X_{2i}^*)}{W_3^* (X_{3i}^*)} .$$

Desde que os valores são reais, o balanço de massas tem que ser exato para as vazões e componentes, as seguintes equações podem ser escritas:

$$(1) \quad W_1^* = W_2^* + W_3^* ,$$

$$(2) \quad W_1^* X_{1i}^* = W_2^* X_{2i}^* + W_3^* X_{3i}^* .$$

Dividindo a equação (1) por W_1^*

$$1 = \frac{W_2^*}{W_1^*} + \frac{W_3^*}{W_1^*} ,$$

$$(3) \quad \frac{W_3^*}{W_1^*} = 1 - \frac{W_2^*}{W_1^*} ,$$

$$\text{fazendo } \beta = \frac{W_2^*}{W_1^*} \quad (4) ,$$

combinando (2) e (4) :

$$(5) \quad X_{1i}^* = \beta X_{2i}^* + (1 - \beta) X_{3i}^* .$$

Portanto, para o cálculo de uma partição de massas, utilizando-se os valores reais a equação (5) é igual a zero:

$$(6) \quad X_{1i}^* - \beta X_{2i}^* - (1 - \beta) X_{3i}^* = 0 .$$

A regra dos n produtos apresenta algumas limitações: caso um experimento ou uma campanha de amostragem seja repetido, teoricamente, o aumento dessa repetição forneceria um valor

médio, cada vez mais próximo do valor real. Na prática, isto não acontece, pois o valor experimental muda com o tempo, uma vez que, numa usina de beneficiamento, as condições nunca são estáveis por todo o tempo. Pode-se, no entanto, obter informações suficientes para o cálculo de várias estimativas de vazão em cada fluxo. Por exemplo, se as distribuições granulométricas da alimentação e dos produtos de um classificador forem conhecidas, pode-se estimar a vazão total que entra, a partir de cada fração granulométrica.

Se estas estimativas coincidirem, não haverá necessidade de análises adicionais, pois o conjunto de dados será consistente. Entretanto, isto raramente ocorre e, portanto, é necessário ajustar os valores de modo que se tornem coerentes entre si, satisfazendo todas as restrições de balanço de massas.

III. MÉTODOS MATEMÁTICOS PARA AJUSTE DE BALANÇO DE MASSAS

Dentre os métodos de ajustes de dados existentes, pode-se salientar os seguintes:

- minimização da soma dos quadrados dos resíduos do fechamento do balanço,
 - método dos mínimos quadrados,
- que serão examinados em seguida.

III.1 Minimização da soma dos quadrados dos resíduos do fechamento do balanço

O método da soma dos resíduos do fechamento do balanço de massas assume que os valores experimentais das análises são suas melhores estimativas (05). Como o valor medido não coincide com os valores reais, o balanço de massas, equação (6), não será fechado, ou seja, a soma não será zero, mas terá um resíduo d_i .

Portanto, as equações de conservação de massa para os valores experimentais podem ser escritas:

$$(7) \quad W_1 - W_2 - W_3 = d_i^m ,$$

$$(8) \quad W_1 X_{1i} - W_2 X_{2i} - W_3 X_{3i} = d_i^t ,$$

onde d_i = são os resíduos na equação de fechamento de balanço de massas, gerados pelos erros experimentais nas medidas, com o "s" representando os sólidos e o "t" o teor.

Partindo da equação (6):

$$(9) \quad X_{1i} - \theta X_{2i} - (1 - \theta) X_{3i} = d_i .$$

O método consiste em encontrar a melhor estimativa de θ , que minimize a soma dos quadrados de todos os resíduos:

$$(10) \quad F = \sum (d_i^2) + \sum (d_i^2) = \text{mínimo} .$$

O valor de F não pode ser zero, a menos que os dados sejam consistentes (4). O método mais simples para encontrar o mínimo é diferenciar em relação a θ e igualar a zero:

$$(11) \quad X_{1i} - \theta X_{2i} + (1 - \theta) X_{3i} = d_i ,$$

$$(12) \quad \sum d_i^2 = \sum [X_{1i} - \theta X_{2i} + (1 - \theta) X_{3i}]^2 ,$$

$$(13)$$

$$\frac{d \sum d_i^2}{d \theta} = 2 \sum [X_{1i} - \theta X_{2i} - (1 - \theta) X_{3i}] (X_{3i} - X_{2i}) = 0$$

(no ponto mínimo),

e

$$(14) \quad \hat{\theta} = \frac{\sum (X_{1i} - X_{3i}) (X_{2i} - X_{3i})}{\sum (X_{2i} - X_{3i})^2} .$$

$\hat{\theta}$ é agora denominado $\hat{\theta}$, como a melhor estimativa do valor verdadeiro θ^* , baseado no método da soma dos mínimos quadrados dos erros de fechamento do balanço de massas.

III.2. Método dos Mínimos Quadrados

O método dos mínimos quadrados dos resíduos do ajuste dos componentes utiliza valores obtidos por processo de cálculo, obtendo-se os resíduos entre esses valores e os obtidos experimentalmente.

Se a cada análise X_j ou medida de vazão W_j forem

associados as melhores estimativas $\hat{Q}_j$ e $\hat{W}_j$, então os resíduos são elevados ao quadrado e somados e o valor de ajuste é aquele que minimiza a soma F, dada pela equação:

$$(15) \quad F = \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^z (\hat{Q}_{jk} - X_{jk})^2 + \sum_{j=1}^m (\hat{W}_j - W_j)^2 = \text{mínimo},$$

onde W_j é a vazão medida do fluxo j;

$\hat{W}_j$ é a vazão ajustada do fluxo j;

X_{jk} é o valor medido do componente k no fluxo j;

$\hat{Q}_{jk}$ é o valor ajustado do componente k no fluxo j;

m é o número de fluxos;

z é o número de análises dos componentes em cada fluxo.

Um refinamento que pode ser utilizado no método dos mínimos quadrados é a introdução de ponderadores (06), que terão a finalidade de conduzir o ajuste das variáveis de acordo com algum critério pré-determinado, como por exemplo, a precisão conhecida de suas medidas.

O conceito de ponderadores para a soma dos quadrados não é, portanto, mais do que a inclusão da experiência do operador nos procedimentos de cálculo.

O peso de uma medida pode também ser inversamente proporcional à sua variância. O conhecimento do processo, condição da amostragem naquele ponto e a experiência qualitativa geram outras aproximações alternativas. Alguns fluxos podem ser convenientemente amostrados e a eles devem ser atribuídos maiores ponderadores do que a outros com maior dificuldade de amostragem.

Portanto, o modelo de erros a ser adotado, depende da experiência

e opção do usuário.

Logo, a equação (15) pode ser substituída por:

$$(16) \quad F = \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^z \frac{(\hat{X}_{jk} - X_{jk})^2}{S X_{jk}^2} + \sum_{j=1}^m \frac{(\hat{W}_j - W_j)^2}{S W_j^2} = \text{mínimo.}$$

Para minimizar a função F ponderada, pode ser utilizado o Cálculo Diferencial, que ensina que, para obter um ponto de mínimo da função F (Wj , Xj), inicialmente, devem-se encontrar seus pontos críticos, ou seja, os (Wj , Xj), tais que:

$$(17) \quad \frac{dF}{dW_j dX_j} = 0 \quad ; \quad j = 1, 2, \dots, n,$$

montando-se um sistema linear em função de (Wj , Xj), resolvendo-o e chegando ao valor ajustado.

Estes cálculos são um tanto trabalhosos, e o matemático francês Lagrange elaborou um método para abreviá-los.

III.2.1. Método dos Multiplicadores de Lagrange

O método é utilizado para simplificar os problemas de minimização, que são sujeitos a condições e/ou restrições. As restrições são expressas de tal forma que se igualem a zero.

A função soma, equação (16), a ser minimizada é modificada pela adição de equações de restrição, multiplicadas por um fator chamado de Multiplicador de Lagrange. A equação (16) toma a forma:

(18)

$$L(X_j, W_j, \lambda_j) = \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^n \frac{(x_{jk}^* - x_{jk})^2}{S_{Xj}^2} + \sum_{j=1}^m \frac{(\hat{w}_j - w_j)^2}{S_{Wj}^2} + \sum_{j=1}^m \lambda_j G_j(x_j, \hat{w}_j),$$

onde $G_j(x_j, \hat{w}_j)$ são as restrições (do circuito),

λ_j é o multiplicador de Lagrange,

L é o Lagrangeano.

A configuração do problema descrito pela equação (18) é chamada minimização sujeita à restrições.

O Lagrangeano é diferenciado em relação a cada um dos termos desconhecidos $(x_j, \hat{w}_j, \lambda_j)$ e os multiplicadores de Lagrange são usados para se obter a solução. Os valores de x_j e $\hat{w}_j$, que são solução da função, são também solução do problema.

IV. MÉTODOS DE SOLUÇÃO DE SISTEMAS

IV.1. Método de Eliminação de Gauss

O método de Eliminação de Gauss consiste em transformar um sistema linear em um sistema linear equivalente, com matriz dos coeficientes triangular superior (Ø7), pois esta é de resolução imediata.

Será apresentado, inicialmente, um algoritmo para a resolução de sistemas triangulares e, a seguir, será estudado como o método de Eliminação de Gauss efetua a transformação do sistema linear no sistema triangular equivalente.

IV.2. Resolução de sistemas triangulares

Seja um sistema linear: $Ax = b$, onde A : matriz $n \times n$, triangular superior, com elementos da diagonal diferentes de zero. Escrevendo as equações deste sistema, tem-se:

$$\begin{aligned} a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n &= b_1 \\ a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n &= b_2 \\ &\vdots \\ a_{nn}x_n &= b_n, \end{aligned}$$

onde, $a_{ii} \neq 0$, $i = 1, 2, \dots, n$ é dito um sistema triangular.

A resolução do sistema é feita por:

$$x_n = \frac{b_n}{a_{nn}}$$

$$e: \quad x_i = \left[b_i - \sum_{j=i+1}^n a_{ij} x_j \right] / a_{ii},$$

para $i = n-1, n-2, \dots, 1$.

IV.3. Descrição do método de Eliminação de Gauss

Usando a propriedade da Álgebra Linear de que a solução de um sistema linear não se altera se subtraímos de uma equação outra equação do sistema, multiplicada por uma constante c , sendo $\det A \neq 0$, tem-se os seguintes passos para a triangularização da matriz (28):

- a eliminação é feita por colunas e chama-se de estágio k do processo à fase em que se elimina a variável x_k das equações $k+1, k+2, \dots, n$;
- usa-se a notação a_{ij}^k , para denotar o coeficiente da linha i e coluna j , no final do k -ésimo estágio, bem como b_i^k será o i -ésimo elemento do vetor constante no final do estágio k ;
- o elemento $a_{ii}^{(k-1)}$ é chamado o pivô de cada estágio e deve ser diferente de zero;

- os elementos $m_{ij}^k = \frac{a_{ij}^{(k-1)}}{a_{ii}^{(k-1)}}$

são os multiplicadores do k -ésimo estágio, para $i, j, k = 1, \dots, n$.

- os elementos finais de cada estágio são:

$$\begin{aligned} a_{ij}^n &= a_{ij}^{(k-1)} - m_{ij} * a_{ij}^{(k-1)} & \text{para } i &= 2, \dots, n \\ & & j &= 1, \dots, n \\ & & k &= 1, \dots, n, \\ b_i^n &= b_i^{(k-1)} - m_{ij} * b_i^{(k-1)} & \text{para } i &= 2, \dots, n \end{aligned}$$

- Observação: Se durante a aplicação do método de Eliminação de Gauss a um sistema, ocorrer um pivô nulo e todos os elementos da coluna correspondente ao pivô, abaixo da diagonal principal, forem nulos, o determinante da matriz A é igual a zero. Portanto, o sistema é indeterminado ou inconsistente e a aplicação do método deve ser interrompida.

V. DESCRIÇÃO BÁSICA DO MÉTODO DE AJUSTE PROPOSTO

A obtenção dos valores não amostrados e os ajustes de valores medidos têm que ser feitos de modo que todas as equações do balanço sejam satisfeitas e os ajustes totais sejam mínimos. Para que as informações possam ser processadas por computador, é necessário expressar essas duas condições de forma matemática.

A interpretação matemática deve começar pelo fluxograma que, juntamente com os valores experimentais e com o modelo de erros adotado, irão formular o problema para o qual busca-se a solução, representando o melhor ajuste para os dados.

V.1. Tratamento matemático

O primeiro passo é descrever o fluxograma de processo de tratamento, usando a matriz M de dimensões $n \times m$ (n = nº de operações $\times$ nº de fluxos), cujos elementos m_{ij} são $+1$, -1 ou 0 (zero), indicando se o j -ésimo fluxo entra, sai ou não se liga à i -ésima operação, respectivamente, e m = número de parâmetros de fluxo e n = número de operações no fluxograma.

Assim, o conjunto de equações de balanço de massa em cada operação, que descreve o processo, pode ser expresso na forma matricial:

$$(19) \quad W M = 0,$$

onde, W é um vetor m -linha dos parâmetros experimentais do processo.

As equações da regra dos n produtos poderão ser escritas da forma matricial com os valores ajustados para zerar o balanço de massas.

$$(20) \quad \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m m_{ij} \hat{Q}_j = 0,$$

onde $\hat{Q}_j$ são os valores ajustados das vazões no fluxo j .

Se forem analisados k componentes, o balanço metalúrgico em cada operação i , para cada componente k , é:

$$(21) \quad \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m m_{ij} (X_j^* - \hat{Q}_j) = 0.$$

O procedimento proposto é um algoritmo para fazer o fechamento e ajuste tanto do balanço de massas, quanto do balanço metalúrgico, utilizando o método dos mínimos quadrados.

Para facilitar a análise e programação do procedimento proposto, a função dada pela equação (16) será simplificada, pelo critério para minimização da função objetivo, dado por Hodouin e Everell (09), que foi dividi-la em duas partes, uma das quais contendo as variáveis de vazões e a outra as variáveis dos componentes, teores e granulometria, como pode ser visto na equação (22). Isto é possível, desde que os erros nas medidas sejam independentes, então tem-se:

$$(22) \quad F = F(W) + F(X).$$

Portanto, a função objetivo global pode ser escrita da seguinte forma:

$$(23) \quad F = \sum_{i=1}^n P_i (\hat{P}_i - r_i)^2,$$

onde: P_i é o fator de ponderação associado a r_i , o i -ésimo ponto de dado medido e $\hat{P}_i$ é o correspondente ponto de dado ajustado.

A partir da equação genérica (23), para o cálculo de ajuste dos dados de vazão e de teores, sendo o elemento generalizado r_i usado para o balanço de massas, onde r_i é w_j , e para o balanço metalúrgico, onde r_i é $X_j \cdot \dot{W}_j$, chega-se à equação:

$$(24) \quad F_n = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^k P_{ij} (\hat{r}_i - r_{ij})^2,$$

onde,

r_{ij} = valor experimental do parâmetro de r_i no fluxo j ,

$\hat{r}_i$ = valor ajustado de r_i ,

P_{ij} = peso de r_{ij} , ou seja, peso de r_i no fluxo j .

A função dada pela equação (24) é uma estimativa, pelo método dos mínimos quadrados, com os fatores de ponderação P_{ij} sendo usados para definir os níveis de confiança associados a cada medida particular. Impondo as restrições de processos definidas pelo fluxograma, matriz M , e pelas equações (19) e (20) para o balanço de massas e, (19) e (21) para o balanço metalúrgico, e usando os Multiplicadores de Lagrange para gerar a função Lagrangeana, para minimizar o método dos mínimos quadrados, chega-se à equação matemática para o i -ésimo parâmetro r_i :

$$(25) \quad F_n = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^k P_{ij} (\hat{r}_i - r_{ij})^2 + RM \cdot \underline{\lambda},$$

onde:

$\underline{\lambda}$ = um vetor n -coluna dos multiplicadores de Lagrange.

Diferenciando a equação (25) em relação ao valor ajustado $\hat{r}_i$ e aos multiplicadores de Lagrange, gera-se um

conjunto de $m+n$ equações simultâneas (16), que podem ser organizadas na forma matricial:

$$(26) \quad A S = Y,$$

onde:

$$A = \begin{pmatrix} B & M \\ M' & \emptyset \end{pmatrix} \quad S = \begin{pmatrix} R \\ \lambda \end{pmatrix} \quad Y = \begin{pmatrix} Q \\ \emptyset \end{pmatrix}$$

$$B = \begin{pmatrix} k_1 & & & \\ E & 2 & P_{1j} & \\ j=1 & & & \emptyset \\ & k_2 & & \\ & E & 2 & P_{2j} \\ & j=1 & & \\ & & \ddots & \\ & & & \\ & & & k_m \\ & & & E & 2 & P_{mj} \\ & & & j=1 & & \end{pmatrix}$$

$$R = \begin{pmatrix} P_1 \\ P_2 \\ \vdots \\ P_m \end{pmatrix} \quad \lambda = \begin{pmatrix} \lambda_{..1} \\ \lambda_{..2} \\ \vdots \\ \lambda_{..n} \end{pmatrix} \quad Q = \begin{pmatrix} k_1 & & \\ E & 2 & P_{1j} & r_{1j} \\ j=1 & & & \\ & k_2 & & \\ & E & 2 & P_{2j} & r_{2j} \\ & j=1 & & \\ & & \ddots & \\ & & & \\ & & & k_m \\ & & & E & 2 & P_{mj} & r_{mj} \\ & & & j=1 & & \end{pmatrix}$$

A matriz A , de dimensões $[(m+n) \times (m+n)]$, é dada pela matriz diagonal B , $(m \times n)$, com os ponderadores multiplicados pelo fator 2, proveniente da derivada da função quadrática, com a matriz M , $(m \times n)$, do fluxograma, completando as colunas, e a inversa de M , M' , de dimensões $(n \times m)$, completando as linhas. Os elementos $a_{m+1, m+1}$ até $a_{m+n, m+n}$ são zerados, para tornar a matriz retangular e ser possível solucionar o sistema gerado.

O vetor solução S , de dimensões $[(m+n) \times 1]$, contém um vetor m -coluna dos valores ajustados $\hat{p}_i$ e um vetor n -coluna dos multiplicadores de Lagrange, que podem ser considerados como variáveis de recurso matemático, no número de n operações, para propiciar a solução do sistema e como tal, não têm valor em termos de processo mineral.

O vetor $(m+n)$ -coluna dos termos independentes Y é formado pelo vetor m -coluna dos valores experimentais, multiplicados por duas vezes o fator de ponderação, e pelo vetor n -coluna de valores nulos.

A equação matricial, dada pela equação (35), é resolvida pelo método de Eliminação de Gauss para os valores $\hat{p}_i$ e

λ

VI. Rotina de Solução

Entrada dos dados:

- nº de operações n ,
- nº de fluxos m ,
- restrições matriz M ,
- valores experimentais média de vazão e desvio-padrão,
 média de teor e desvio-padrão.
Opção: do modelo de erros de ser
 feito com o grau de certeza
 ou incerteza,
- dados não amostrados entrar média igual ao desvio padrão
 (critério de mínima confiabilidade).

Sub-rotinas de Cálculos :

1. Zera a matriz A;

2. calcula os pesos P_{ij} ;

3. calcula os valores da matriz diagonal B

$$b_{ii} = \sum_{j=1}^{k_i} 2 P_{ij} ;$$

4. calcula valores da matriz Y

$$y_{ij} = \sum_{j=1}^{k_i} 2 P_{ij} * r_i ;$$

5. resgata os valores da matriz M e calcula a M' ;

6. monta a matriz A;

7. triangulariza a matriz A, pelo método de Eliminação de Gauss;

8. calcula a solução da matriz triangularizada;

9. dá a resposta do Lagrangeano e $\hat{P}_i$;

10. iteração;

11. convergência.

VI.1. Descrição do Diagrama de Fluxo de Dados (DFD)

O Diagrama de Fluxo de Dados (DFD), figura 4, mostra o esquema de operação do programa de fechamento de Balanço de Massas, chamado BALMAS.

A primeira etapa é fazer a opção pelo fechamento do balanço de massas ou metalúrgico.

O passo seguinte é definir a usina, através do seu fluxograma, interpretado pela matriz M .

O valor do elemento m_{ij} , ou seja, o valor do fluxo j , ou do componente, na operação i é o seu valor experimental com o sinal de $+$ ou $-$, caso o fluxo entre ou saia do ponto de operação, respectivamente, ou zero se não se ligar a esse ponto. A montagem da matriz M , restrições, é feita através da entrada dos valores $+1$ e -1 , a serem utilizados na matriz A .

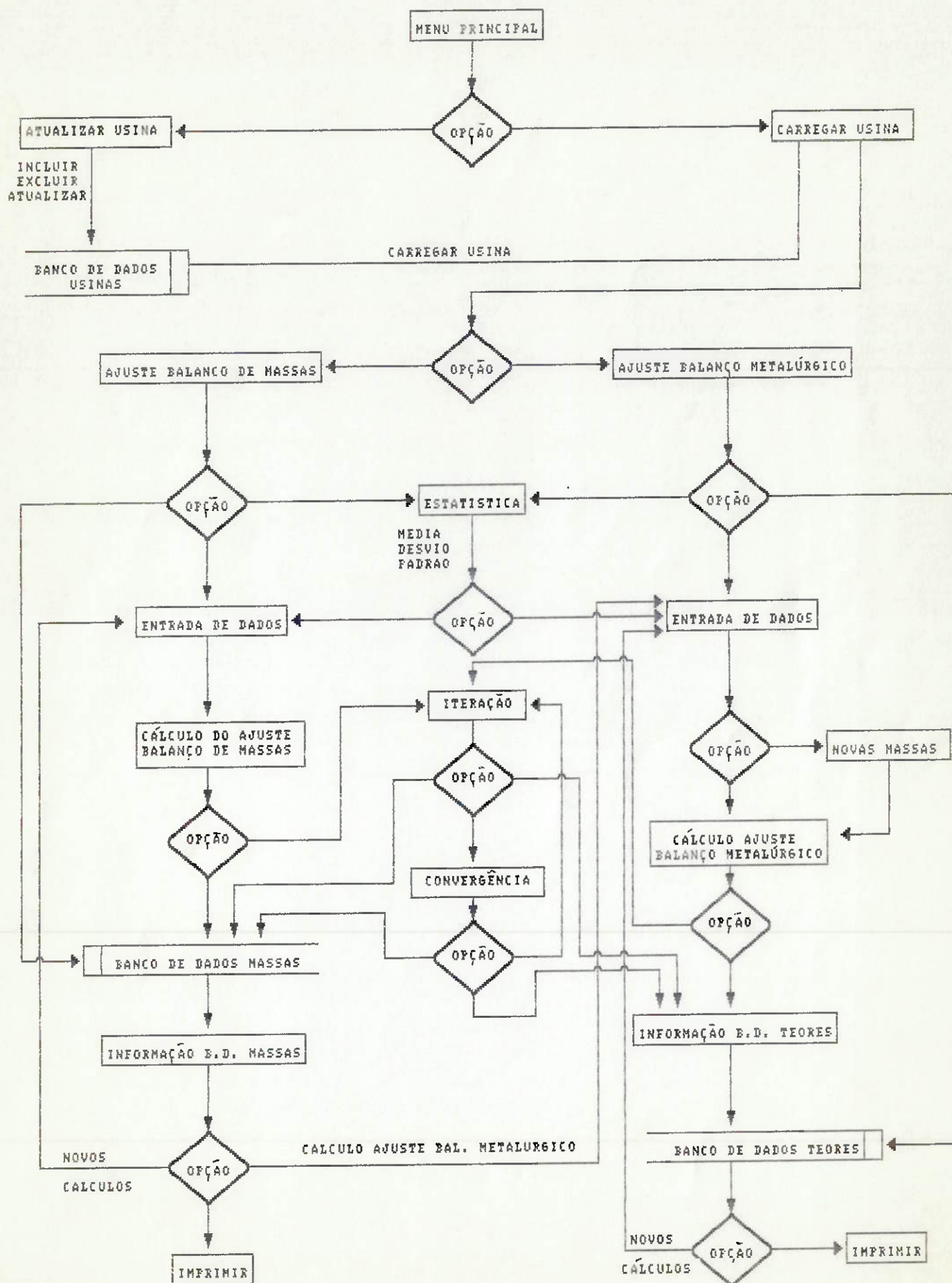
Os dados podem já estar calculados, com média e desvio-padrão, ou utiliza-se a rotina/procedimento de cálculo de média e desvio padrão, para prepará-los.

O ponderador P_{ij} para o "software" proposto fica a critério do usuário. Poderão ser usados os desvios-padrão das medidas experimentais ou, então, dependendo do nível de conhecimento da tomada de medidas o usuário poderá optar pelo grau de certeza ou incerteza, medida em porcentagem, por exemplo, desvio-padrão dividido pela respectiva média, o que em muitos casos pode representar uma ponderação mais apurada.

Após a confirmação da entrada dos dados e do modelo de erros adotado, o programa calcula o ajuste dos dados, realizando por conseguinte o fechamento do balanço de massas.

A seguir opta-se de acordo com as necessidades de se fazer ou não outra iteração dos cálculos e verificar sua convergência.

figura 4 - DIAGRAMA DE FLUXO DE DADOS DO SISTEMA DE AJUSTES DO BALANÇO DE MASSAS E METALÚRGICO
SISTEMA BALMAS



VII. ESTUDO DE CASO

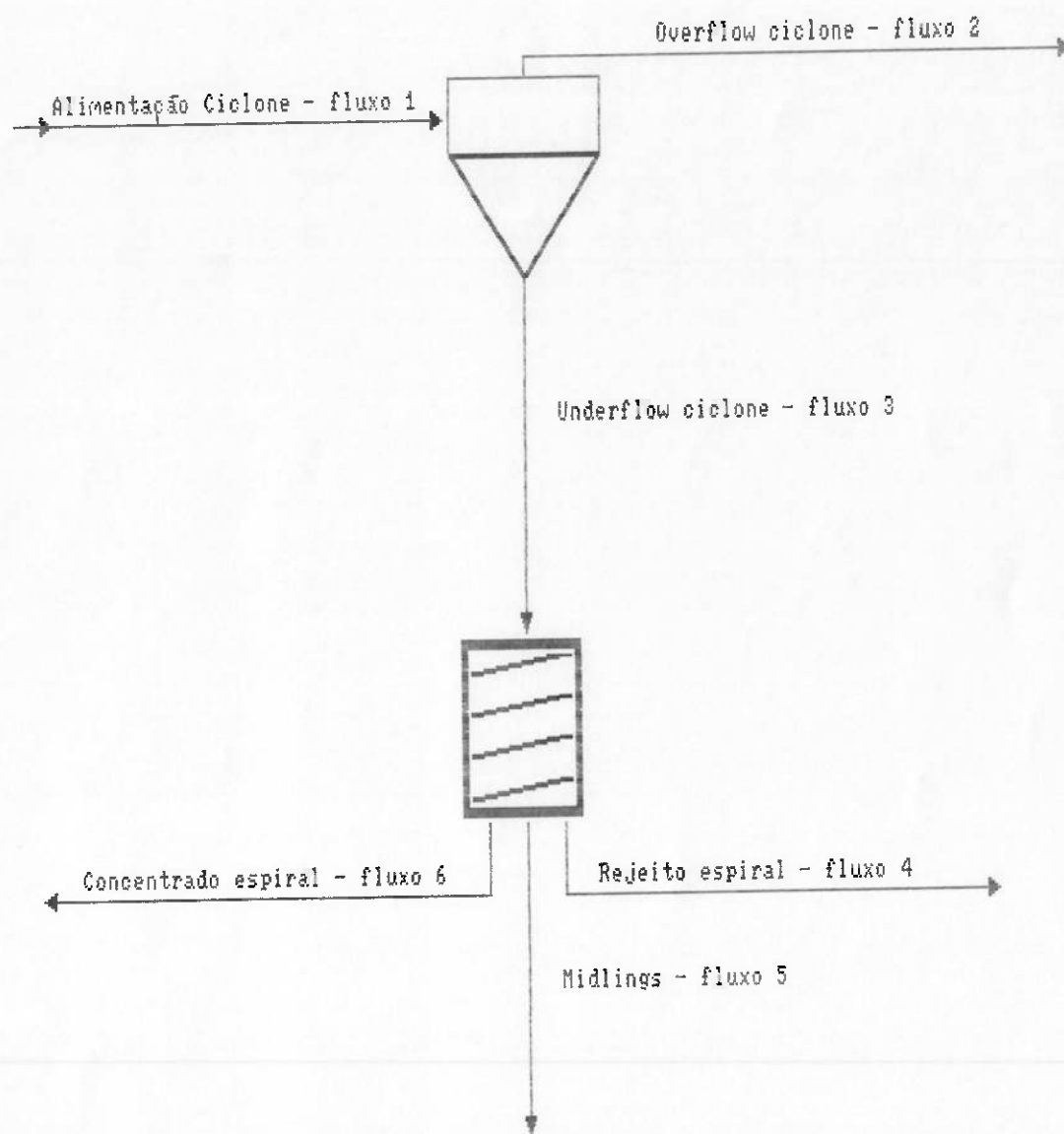
O estudo realizado teve por base o relatório elaborado pelo Professor Dr. Arthur Pinto Chaves para a Companhia Carbonífera Cambuí - Estabelecimento de Balanço e Sugestões para Melhoria do Circuito de Beneficiamento, Abril de 1990.

Segue em anexo:

- Fluxograma do circuito de finos retornado (figura 5);
- Dados realizados pelo Sistema (tabelas 1,2).

Vale salientar que a determinação de qual fluxo deveria ser calculado e qual deveria ser mantido após cada iteração teve participação direta do engenheiro responsável, no caso o Engenheiro Arthur Pinto Chaves.

figura 5 - FLUXOGRAMA DO CIRCUITO DE FINOS RETORNADO
DA COMPANHIA CARBONÍFERA CAMBUI



FLUXOGRAMA DO CIRCUITO DE FINOS,
DA COMPANHIA CARBONÍFERA CAMBUI

SISTEMA DE AJUSTE E FECHAMENTO
DE BALANÇO DE MASSAS E METALÚRGICO
BALMAS

tabela 1 - Balanço de Massas do Circuito de Finos Retornado - CCC

restrições: 1-2-3=0
3-4-5-6=0

iteração 1

Fluxo	Fluxo Experimental	desv.padr.	calculado	%massa
1	3682.360	3682.360	3750.820	100.000
2	554.100	554.100	552.550	14.730
3	6027.800	858.423	3198.270	85.270
4	239.850	63.701	255.410	6.810
5	405.130	35.613	409.990	10.930
6	1473.250	525.660	2532.870	67.530

iteração 2

Fluxo	Fluxo Experimental	desv.padr.	calculado	%massa
1	6000.000	6000.000	4134.360	100.000
2	884.000	884.000	924.500	22.360
3	6027.800	858.423	3209.860	77.640
4	255.410	63.701	255.580	6.180
5	409.990	35.613	410.050	9.920
6	2532.870	525.660	2544.240	61.540

iteração 3

Fluxo	Fluxo Experimental	desv.padr.	calculado	%massa
1	4134.360	4134.360	4124.420	100.000
2	924.500	924.500	925.000	22.430
3	3209.860	858.423	3199.420	77.570
4	255.580	63.701	255.430	6.190
5	410.050	35.613	410.000	9.940
6	2544.240	525.660	2533.990	61.440

tabela 2 - Balanço Metalúrgico do Circuito de Finos Retornado- CC

Cinzas

restrições: 1-2-3=0
3-4-5-6=0

iteração 1

Fluxo	Fluxo Experimental	desv.padr.	calculado	%distrib
1	23.040	23.040	33.770	100.000
2	49.950	2.747	49.930	21.780
3	32.590	6.060	30.980	78.220
4	80.370	3.201	80.390	16.210
5	35.350	4.683	35.420	11.460
6	24.780	4.898	25.280	50.550

iteração 2

Fluxo	Valor Adotado	desv.padr.	calculado	%distrib
1	33.770	33.770	35.220	100.000
2	49.930	2.747	49.910	31.780
3	30.980	6.060	30.980	68.220
4	80.390	3.201	80.340	14.130
5	35.420	4.683	35.420	10.000
6	25.280	4.898	25.280	44.090

iteração 3

Fluxo	Valor Adotado	desv.padr.	calculado	%distrib
1	35.220	35.220	35.370	100.000
2	49.910	2.747	49.910	31.640
3	30.980	6.060	31.170	68.360
4	80.340	3.201	80.400	14.080
5	35.420	4.683	35.460	9.960
6	25.280	4.898	25.510	44.310

VIII. CONCLUSÕES

O método de fechamento dos valores dos balanços de massas e metalúrgico, descrito neste trabalho, foi desenvolvido a partir das necessidades reais de ter as medidas de vazão e teores confiáveis independente se as medidas forem amostradas ou não. Deste modo, o programa de computador pode ser visto como um enorme exercício de ajuste, onde as varias etapas definidas regulam o cálculo.

Os benefícios da iteração para o fechamento do balanço de massas estão em dois pontos principais. Primeiro, o trabalho envolvido na escolha e determinação dos dados da usina, obtidos da investigação de um processo mineral pode ser minimizado, evitando-se a retirada de amostras em pontos de difícil acesso.

Os dados do processo obtidos pelo programa de balanço de massas podem ser usados diretamente e interpretados em termos de processo global, devido ao fechamento assegurado em todas as operações. Este ponto deve ser enfatizado, pois por métodos manuais, o tempo gasto para os cálculos é, frequentemente, alto e pode-se chegar apenas a alguns balanços de baixa confiabilidade. Usando programas de balanço de massas, maior ênfase pode ser dada para os problemas de processo.

O segundo benefício vem do uso periódico do próprio balanço de massas: o programa pode ser usado para verificar as flutuações nas condições operacionais do processo, a curto e longo prazos, auxiliando na identificação de quaisquer mudanças que possam ocorrer, por exemplo, mudança de qualidade de minérios, mau funcionamento de equipamentos e o desgaste em

componentes do circuito, tal como: "apex" de ciclones ou revestimentos: a operação, nestas condições, pode levar a uma condição anti-econômica. Estas flutuações ocorrem gradualmente e, usualmente, não podem ser detectadas no dia-a-dia, mas podem ser detectadas facilmente a partir de um balanço de massas rotineiro e as correções necessárias feitas assim que detectadas.

É de grande importância a hierarquização dos dados, para uma melhor precisão nos resultados. A variância dos valores experimentais é usualmente escolhida como o mais satisfatório fator de ponderação.

Portanto, o funcionamento do processo mineral e os métodos de obtenção de dados devem ser bem compreendidos pelo profissional que atribuir os fatores de ponderação e verifica se é necessário nova iteração ou não, no algoritmo proposto, pois sua habilidade para enquadrar o processo, em termos do balanço de massa, em qualquer direção, é de fundamental importância para o sucesso da operação. Em outras palavras, um usuário inexperiente pode facilmente obter resultados errôneos; particularmente, onde os dados foram obtidos apressadamente ou com outro objetivo. Estas condições não são incomuns em usinas de processamento mineral.

Os dados experimentais obtidos em uma unidade de processamento mineral podem ser tratados pelo método apresentado.

Gostaria ainda de agradecer ao Professor Dr. Arthur Pinto Chaves pela orientação prestada, ao Engenheiro Antonio Carlos Nunes da Mineração Taboca S.A. pelo incentivo e orientação quanto ao desenvolvimento do sistema e a Mineração Taboca S.A.

pela oportunidade de desenvolver este trabalho durante meu estágio.

Como complemento do trabalho sugeriríamos a tradução deste algoritmo escrito em Turbo Pascal para a Linguagem C.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 01 NUNES, A.C.; Sistema Computadorizado para Ajuste de Balanco de Massas e Metalúrgico. São Paulo, EPUSP, 1992. / Tese de Mestrado, 1992/
- 02 GY, P. Sampling of particulate materials: theory and practice. Amsterdam, Elsevier, 1982. (development in Geomathematics, v.4.)
- 03 NUNES, A.C.; FERREIRA, F.M.; TOMI, G.F.C. Aplicação de microcomputadores na indústria mineral. São Paulo, EPUSP, 1983. / Trabalho apresentado ao Prêmio José Ermírio de Moraes, 1983/
- 04 LYNCH, A. J. Mineral crushing and grinding Circuits: their simulation, optimization, design and control. Amsterdam, Elsevier, 1977. (Developments in Mineral Processing, v.1.)
- 05 WILLS, B.A.; MANSER R.J. Reconciliation of simple node excess data. Transactions of the Institution of Mining and Metallurgy. Section C, v. 94, p. 209-14, Dec. 1985.
- 06 BAZAN, A.L.C. Cálculo computadorizado de balanços de massa e metalúrgico. s.l., s.n., 1984 / Trabalho apresentado ao Prêmio José Ermírio de Moraes, 1984/
- 07 HUMES, A.F.P. et al. Nocões de cálculo numérico. São Paulo, McGraw-Hill, 1984.

- 08 RUGGIERO, M.A.G.; LOPES, V.L.R. Cálculo numéricos
aspectos teóricos e computacionais. São Paulo,
McGraw-Hill, 1988.
- 09 HODDUIN, D.; EVERELL, M.D. A hierarchical procedure
for adjustment and material balancing of
mineral processes data. International Journal of
Mineral Processing, v. 7, p.91-116, 1980.
- 10 CHAVES, A.P. Estabelecimento de Balanco e Sugestões
para melhoria do Circuito de Beneficiamento. 1990./
Relatório da Companhia Carbonífera Cambu, 1990/
- 11 CHAVES, A.P. Balanco dos Contaminantes. 1990./
Relatório da Companhia Administradora Morro
vermelho, 1990./

LISTAGEM DO PROGRAMA

(4su)

PROGRAM BALANCO.DE.MASSAS.LITERACAO;

(* POR PAULO FERNANDO DE TOLEDO DAMASCENO -- ANTONIO CARLOS NUNES *)

(* ULTIMA ATUALIZACAO: 11/06/92 *)

TYPE MATRIZ = ARRAY[1..20,1..20] OF REAL;

VETOR = ARRAY[1..20] OF REAL;

VETOR2 = ARRAY [1..15] OF CHAR;

TIPO1 = STRING[1];

LABEL 10,20,30;

VAR AXS : TIPO1;

axs1 : tipo1;

OPCAOI : INTEGER;

OPCAOV : TIPO1;

dados : TIPO1;

RESPC : TIPO1;

RESPP : INTEGER;

CONTADOR : INTEGER;

CONTADOR1 : INTEGER;

CONTADORS : INTEGER;

RESPB : INTEGER;

RESP : TIPO1;

RESPFL : TIPO1;

RESPINT : TIPO1;

RESPINTT : TIPO1;

RESPE : TIPO1;

M : INTEGER;

N : INTEGER;

I : INTEGER;

J : INTEGER;

CONT : INTEGER;

RESPI : VETOR2;

FL : VETOR;

GI : VETOR;

FLR : VETOR;

FLRC : VETOR;

GC : VETOR;

Q : VETOR;

PESO : VETOR;

MASSA : VETOR;

TEOR : VETOR;

R : VETOR;

T : VETOR;

TAUX : VETOR;

RC : VETOR;

TC : VETOR;

DFT : VETOR;

DPM : VETOR;

Y : VETOR;

LAG : VETOR;

A : MATRIZ;

RAUX : MATRIZ;

RAUX1 : MATRIZ;

```

raux2 : matriz;
raux1 :matriz;
AUX : MATRIZ;
AUXS : INTEGER;

```

```

PROCEDURE telai;

```

```

var i:integer;

```

```

begin

```

```

  clrscr;

```

```

  gotoxy(01,01);

```

```

  writeln('*****');

```

```

  gotoxy(03,02);

```

```

  writeln('DEPTO. ENG.DE MINAS - SISTEMA AJUSTE DE BALANCO DE MASSAS E METALURGICO');

```

```

  gotoxy(01,23);

```

```

  writeln('*****');

```

```

  gotoxy(01,03);

```

```

  writeln('*****');

```

```

  gotoxy(03,06);

```

```

  writeln('DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE MINAS');

```

```

  writeln;

```

```

  writeln;

```

```

  writeln('SISTEMA DE AJUSTE DE BALANCO');

```

```

  writeln;

```

```

  writeln('DE MASSAS E METALURGICO');

```

```

  for i:=1 to 20 do

```

```

  begin

```

```

    gotoxy(01,i);

```

```

    writeln('*');

```

```

    gotoxy(78,i);

```

```

    writeln('*');

```

```

  end;

```

```

  for i:=21 to 23 do

```

```

  begin

```

```

    gotoxy(01,i);

```

```

    writeln('*');

```

```

    gotoxy(78,i);

```

```

    writeln('*');

```

```

  end;

```

```

  READ(AXS);

```

```

  AXS:= ' ';

```

```

end;

```

```

PROCEDURE OPCAO;

```

```

BEGIN

```

```

  OPCAOI:=0;

```

```

  WINDOW(02,04,74,22);

```

```

  CLRSCR;

```

```

  WRITELN;

```

```

  WRITELN('QUAL O NOME DA PLANTA A SER AJUSTADA? (NO MAXIMO 30 CARACTERES)');

```

```

  GOTOXY(06,03);

```

```

  READLN( RESPI);

```

```

  WRITELN;

```

```

  WRITELN('DESEJA FAZER QUAL AJUSTE ?');

```

```

  WRITELN;

```

```

WRITELN(' 1 - BALANÇO DE MASSAS');
WRITELN(' 2 - BALANÇO METALÚRGICO');
WRITELN(' 3 - BALANÇO DE MASSAS SEGUNDO DO BALANÇO METALÚRGICO');
WRITELN(' 4 - PARA SAIR DO PROGRAMA');
WRITELN;
GOTOXY(33,5);
READLN(OPCAO);
END;

```

PROCEDURE ENTRADA1;

```

VAR I,J:INTEGER;
LABEL 40,50,60,70,80,90,100,110;
BEGIN
IF (RFSPINT='N') OR (RESPINT='n') THEN
BEGIN
WRITELN;
70:=WRITE(' QUANTOS SÃO OS FLUXOS EXISTENTES NO PROCESSO DESSA PLANTA? ');
READLN(M);
IF M<=0 THEN
BEGIN
WRITELN(' PARÂMETRO INCOMPATÍVEL!! M>0 ');
GOTO 70;
END;
WRITELN;
80:=WRITE(' E O NÚMERO DE OPERAÇÕES? ');
READLN(N);
IF N<=0 THEN
BEGIN
WRITELN(' PARÂMETRO INCOMPATÍVEL!! N>0 ');
GOTO 80;
END;
WRITELN;
WRITELN(' QUAL A SUA OPÇÃO DE ENTRADA DE FONDERADORES? ');
WRITELN;
WRITELN(' 1 - DESVIO PADRÃO ');
WRITELN(' 2 - GRAU DE INCERTEZA (%) ');
WRITELN(' 3 - GRAU DE CERTEZA (%) ');
WRITELN;
GOTOXY(51,8);
IF RESP8=1 THEN RESPP:=1
ELSE
READLN(RESPP);
CLRSCL;
WRITELN;
WRITELN(' ENTRE COM OS VALORES EXPERIMENTAIS DAS MASSAS E OS FONDERADORES ');
WRITELN;
FOR I:=1 TO M DO
BEGIN
WRITE(' R[ ',I,' ]: ');
READ(R[I]);
CASE RESPP OF
1: BEGIN
40:=WRITE(' DPM[ ',I,' ]: ');
READLN(DPM[I]);
IF DPM[I]=0 THEN

```

```

        BEGIN
            WRITELN(' DESVIO PADRAO = 0 (ZERO) !! PARAMETRO INVALIDO !!');
            GOTO 40;
        END;
    END;
2: BEGIN
    60:=WRITE('    GI[ ',I,' ]:= ');
    READLN(GI[I]);
    IF GI[I]<=0 THEN
        BEGIN
            WRITELN(' PARAMETRO INCOMPATIVEL!! GI>0 ');
            GOTO 60;
        END;
    DPM[I]:=-GI[I]*R[I]/100;
    END;
3: BEGIN
    50:=WRITE('    GC[ ',I,' ]:= ');
    READLN(GC[I]);
    IF (GC[I]>1) OR (GC[I]<0) THEN
        BEGIN
            WRITELN(' PARAMETRO INCOMPATIVEL!! 0<GC<1 ');
            GOTO 50;
        END;
    DPM[I]:=-(1-GC[I]/100)*R[I];
    END;
END;
END;
END;
FOR I:=1 TO M DO RAUX1[I,1]:=R[I];
repeat
write ('    CONFIRMA OS DADOS ENTRADOS ? (S/N) ');
READLN(DADOS);
IF (DADOS='n') OR (DADOS='N') THEN
BEGIN
    WRITE('    QUAL O FLUXO A SER ALTERADO ? ');
    READLN(I);
    WRITE('    R[ ',I,' ]:= ');
    READ(R[I]);
    CASE RESPP OF
        1: BEGIN
            90:=WRITE('    DPM[ ',I,' ]:= ');
            READLN(DPM[I]);
            IF DPM[I]<=0 THEN
                BEGIN
                    WRITELN(' DESVIO PADRAO = 0 (ZERO) !! PARAMETRO INVALIDO !!');
                    GOTO 90;
                END;
            END;
        2: BEGIN
            100:=WRITE('    GI[ ',I,' ]:= ');
            READLN(GI[I]);
            IF GI[I]<=0 THEN
                BEGIN
                    WRITELN(' PARAMETRO INCOMPATIVEL!! GI>0 ');
                    GOTO 100;
                END;
            END;
        3: BEGIN
            110:=WRITE('    GC[ ',I,' ]:= ');
            READLN(GC[I]);
            IF (GC[I]>1) OR (GC[I]<0) THEN
                BEGIN
                    WRITELN(' PARAMETRO INCOMPATIVEL!! 0<GC<1 ');
                    GOTO 110;
                END;
            END;
        END;
    END;
END;
END;
END;

```

```

        END;
        DPM[I]:=GI[I]*R[I]/100;
    END;
3: BEGIN
    110:WRITE(' GC[ ',I,' ]:= ');
    READLN(GC[I]);
    IF (GC[I]>1) OR (GC[I]<0) THEN
        BEGIN
            WRITELN(' PARAMETRO INCOMPATIVEL!! @GC(1 ')
            GOTO 110;
        END;
        DPM[I]:=(1-GC[I]/100)*R[I];
    END;
END;
* END;
UNTIL (DADOS='S') OR (DADOS='E');
DADOS:=' ';
END;

PROCEDURE LIMPAR;
VAR I,J:INTEGER;
BEGIN
    FOR I:= 1 TO M+N DO
        FOR J:=1 TO M+N+1 DO
            BEGIN
                A[I,J]:=0;
            END;
        FOR I:=1 TO M DO Q[I]:=0;
    END;

PROCEDURE LIMPAR2;
VAR I,J:INTEGER;
BEGIN
    FOR I:= 1 TO M+N DO
        FOR J:=1 TO M+N+1 DO
            A[I,J]:=0;
        END;

PROCEDURE RESTRICOES1;
VAR I,J:INTEGER;
BEGIN
    FOR J:=M+1 TO M+N DO
        BEGIN
            WRITELN;
            WRITELN;
            FOR I:=1 TO M DO
                BEGIN
                    WRITE(' ENTRE COM A RESTRICAO DO FLUXO ',I,' RELATIVO AO NO ', J-M,' := ');
                    READLN (AUX[I,J]);
                    IF AUX[I,J] (> 0) THEN
                        A[I,J]:=ABS(AUX[I,J])/AUX[I,J]
                    ELSE
                        A[I,J]:=AUX[I,J];
                    Q[I]:=Q[I]+1;
                    A[J,I]:=A[I,J];
                END;
            END;
        END;
    END;

```

```

    END;
END;
REPEAT
    WRITE(' CONFIRMA AS RESTRICOES ? (S/N) ');
    READLN(DADOS);
    IF (DADOS='N') OR (DADOS='n') THEN
        BEGIN
            WRITE(' QUAL O FLUXO A SER ALTERADA ? ');
            READLN(I);
            WRITE(' QUAL A OPERACAO ENVOLVIDA ? ');
            READLN(J);
            J:=J+N;
            WRITE(' ENTRE COM A RESTRICAO DO FLUXO ',I,' RELATIVO AO NO ', J-M,' ');
            READLN (AUX[I,J]);
            IF AUX[I,J] <> 0 THEN
                A[I,J]:=ABS(AUX[I,J])/AUX[I,J]
            ELSE
                A[I,J]:=AUX[I,J];
            Q[I]:=-Q[I]+1;
            A[J,I]:=A[I,J];
        END;
    UNTIL (DADOS='S') OR (DADOS='s');
    DADOS:=' ';
END;

```

```

PROCEDURE PESO;
VAR I:INTEGER;
BEGIN
    FOR I:=1 TO M DO
        PESO[I]:= 1/(DPH[I]*DPH[I]);
    END;

```

```

PROCEDURE MATRIZI;
VAR I,J:INTEGER;
BEGIN
    FOR I:=1 TO M DO
        A[I,I]:=-2*PESO[I]*Q[I];
    FOR I:=1 TO M DO
        BEGIN
            J:=M+N+1;
            A[I,J]:=-2*PESO[I]*R[I]*Q[I];
        END;
    END;

```

```

PROCEDURE COND_TRI;
VAR L,LIN,I,P: INTEGER;
    MAX,E,X:REAL;
BEGIN
    FOR L:=1 TO M+N DO
        BEGIN
            MAX:= A[L,L];
            LIN:=1;
            FOR I:=(L+1) TO M+N DO
                IF ABS(A[I,L]) > ABS(MAX) THEN
                    BEGIN

```

```

    MAX:=A[I,L];
    LIN:= I;
  END;
  IF LIN < 1 THEN
  BEGIN
    FOR P:=1 TO M+N+1 DO
    BEGIN
      E:= A[L,P];
      A[I,P]:= A[LIN,P];
      A[LIN,P]:=E;
    END;
  END;
  FOR I:=L+1 TO M+N DO
  BEGIN
    X:=A[I,L]/A[L,L];
    A[I,L]:=0;
    FOR P:=L+1 TO M+N+1 DO
    BEGIN
      E:= A[I,P]-A[L,P]*X;
      A[I,P]:=E;
    END;
  END;
END;
END;

```

```

PROCEDURE CALCULA;
  VAR I,P:INTEGER;
      E:REAL;
  BEGIN
    Y[M+N]:= A[M+N,M+N+1]/A[M+N,M+N];
    FOR I:=M+N-1 DOWNTO 1 DO
    BEGIN
      E:=0;
      FOR P:=I+1 TO M+N DO
        E:=E+A[I,P]*Y[P];
      Y[I]:=(A[I,M+N+1]-E)/A[I,I];
    END;
  END;

```

```

PROCEDURE RESPSTAT;
  VAR I:INTEGER;
  BEGIN
    WRITELN;
    gotoxy(1,2);
    writeLn('    FLUXO          R          RC          DPM');
    IF (RESPINT='N') OR (RESPINT='n') THEN
    FOR I:=M+1 TO M+N DO
    BEGIN
      LAG[I]:=Y[I];
    END;
    WRITELN;
    FOR I:=1 TO M DO
    BEGIN
      RC[I]:=Y[I];
      MASSA[I]:=(100*RC[I])/(RC[1]);
    END;
  END;

```

```

END;
FOR I:=1 TO M DO
BEGIN
  RAUX[I,CONTADOR]:=RC[I];
  GOTOXY(6,I+2);
  WRITELN(I);
  GOTOXY(18,I+2);
  WRITELN(R[I]:2:2);
  GOTOXY(27,I+2);
  WRITELN(RC[I]:2:2);
  GOTOXY(37,I+2);
  WRITELN(DPM[I]:2:2);
END;
END;

```

PROCEDURE ENTRADAII;

```

VAR I:INTEGER;
LABEL 40,50,60,70,80,90,100,110;
BEGIN
  IF (OPCAD1<>3) THEN
  BEGIN;
    IF (RESPINT='N') OR (RESPINT='n') THEN
      70:=WRITE('      QUANTOS SAO OS FLUXOS EXISTENTES NO PROCESSO DESSA PLANTA? ');
      READLN (M);
      IF M<=0 THEN
        BEGIN
          WRITELN(' PARAMETRO INCOMPATIVEL!! M>0 ');
          GOTO 70;
        END;
      WRITELN;
      80:=WRITE('      E O NUMERO DE OPERACOES? ');
      READLN (N);
      IF N<=0 THEN
        BEGIN
          WRITELN(' PARAMETRO INCOMPATIVEL!! N>0 ');
          GOTO 80;
        END;
      END;
      WRITELN;
      WRITELN('      QUAL A SUA OPCAO DE ENTRADA DE PONDERADORES?');
      WRITELN;
      WRITELN('      1 -- DESVIO PADRAO');
      WRITELN('      2 -- GRAU DE INCERTEZA (%)');
      WRITELN('      3 -- GRAU DE CERTEZA (%)');
      WRITELN;
      IF OPCAD1<>3 THEN
        GOTOXY(51,8)
      ELSE GOTOXY(51,5);
      IF RESPB=1 THEN RESPP:=1
      ELSE
        READLN(RESPP);
      CLRSCR;
      WRITELN;
      WRITELN('      ENTRE COM OS VALORES EXPERIMENTAIS DAS MASSAS E OS PONDERADORES');
      WRITELN;

```

```

FOR I:=1 TO N DO
  BEGIN
    WRITE(' T[ ',I,' ]:= ');
    READ(T[I]);
    CASE RESPP OF
      1: BEGIN
        40:=WRITE(' DPT[ ',I,' ]:= ');
        READLN(DPT[I]);
        IF DPT[I]≠0 THEN
          BEGIN
            WRITELN(' DESVIO PADRAO = 0 (ZERO) !! PARAMETRO INVALIDO !!');
            GOTO 40;
          END;
        END;
      2: BEGIN
        50:=WRITELN(' GI[ ',I,' ]:= ');
        READLN(GI[I]);
        IF GI[I]≠0 THEN
          BEGIN
            WRITELN(' PARAMETRO INCOMPATIVEL!! GI>0 ');
            GOTO 50;
          END;
        DPT[I]:=-GI[I]*T[I]/100;
        END;
      3: BEGIN
        60:=WRITELN(' GC[ ',I,' ]:= ');
        READLN(GC[I]);
        IF (GC[I]>1) OR (GC[I]<0) THEN
          BEGIN
            WRITELN(' PARAMETRO INCOMPATIVEL!! 0<GC<1 ');
            GOTO 60;
          END;
        DPT[I]:=(1-GC[I]/100)*T[I];
        END;
      END;
    END;
    for i:=1 to m do raux2[i,1]:=T[i];
  repeat
    write (' CONFIRMA OS DADOS ENTRADOS ? (S/N) ');
    READLN(DADOS);
    IF (DADOS='n') OR (DADOS='N') THEN
      BEGIN
        WRITE(' QUAL O FLUXO A SER ALTERADO ? ');
        READLN(I);
        WRITE(' T[ ',I,' ]:= ');
        READ(T[I]);
        CASE RESPP OF
          1: BEGIN
            70:=WRITE(' DPT[ ',I,' ]:= ');
            READLN(DPT[I]);
            IF DPT[I]≠0 THEN
              BEGIN
                WRITELN(' DESVIO PADRAO = 0 (ZERO) !! PARAMETRO INVALIDO !!');
                GOTO 70;
              END;
            END;
          END;
        END;
      END;
    END;
  END;

```

```

END;
2: BEGIN
  100:WRITE('  GI[ ',I,' ]:= ');
  READLN(GI[I]);
  IF GI[I]<=0 THEN
    BEGIN
      WRITELN(' PARAMETRO INCOMPATIVEL!! GI>0 ');
      GOTO 100;
    END;
  DPT[I]:=-GI[I]*T[I]/100;
END;
3: BEGIN
  110:WRITE('  GC[ ',I,' ]:= ');
  READLN(GC[I]);
  IF (GC[I]>1) OR (GC[I]<0) THEN
    BEGIN
      WRITELN(' PARAMETRO INCOMPATIVEL!! 0<GC<1 ');
      GOTO 110;
    END;
  DPT[I]:=(1-GC[I]/100)*T[I];
END;
END;
END;
UNTIL (DADOS='S') OR (DADOS='E');
DADOS:=' ';
END;

```

PROCEDURE RESTRICOESII;

```

VAR I,J:INTEGER;
    NUM:REAL;
BEGIN
  WRITELN;
  WRITELN('  ENTRE COM OS VALORES DAS RESPECTIVAS MASSAS:');
  WRITELN;
  FOR I:=1 TO N DO
    BEGIN
      WRITE('  RC[ ',I,' ]:= ');
      READLN(RC[I]);
    END;
  FOR J:=M+1 TO M+N DO
    BEGIN
      WRITELN;
      WRITELN;
      FOR I:=1 TO N DO
        BEGIN
          WRITE('  ENTRE COM A RESTRICAO DO FLUXO ',I,' RELATIVO AO NO ', J-M,': ');
          READLN (NUM);
          AUX[I,J]:=NUM;
          IF NUM <> 0 THEN
            A[I,J]:=-ABS(NUM)/NUM
          ELSE
            A[I,J]:=NUM;
          Q[I]:=-Q[I]+1;
          A[J,I]:=-A[I,J];
        END;
      END;
    END;
  END;

```

```

END;
REPEAT
WRITE(' CONFIRMA AS RESTRICOES ? (S/N) ');
READLN(DADOS);
IF (DADOS='N') OR (DADOS='n') THEN
BEGIN
WRITE(' QUAL O FLUXO A SER ALTERADA ? ');
READLN(I);
WRITE(' QUAL A OPERACAO ENVOLVIDA ? ');
READLN(J);
J:=J+M;
WRITE(' ENTRE COM A RESTRICAO DO FLUXO ',I,' RELATIVO AO NO ', J-M,' : ');
READLN (AUX[I,J]);
IF AUX[I,J] (>) 0 THEN
A[I,J]:=-ABS(AUX[I,J])/AUX[I,J]
ELSE
A[I,J]:=-AUX[I,J];
Q[I]:=-Q[I]+1;
A[J,I]:=-A[I,J];
END;
UNTIL (DADOS='S') OR (DADOS='s');
DADOS:=' ';
END;

```

```

PROCEDURE REST_RESTRI;
VAR J,I:INTEGER;
BEGIN
FOR J:=M+1 TO M+N DO
BEGIN
WRITELN;
FOR I:=1 TO M DO
BEGIN
IF (AUX[I,J]) (>) 0 THEN
A[I,J]:=-ABS(AUX[I,J])/(AUX[I,J])
ELSE
A[I,J]:=-AUX[I,J];
A[J,I]:=-A[I,J];
END;
END;
END;

```

```

PROCEDURE PESOII;
VAR I:INTEGER;
BEGIN
FOR I:=1 TO M DO
PESO[I]:= 1/(DPT[I]*DPT[I]*RC[1]*RC[I]);
END;

```

```

PROCEDURE MATRIZII;
VAR I,J:INTEGER;
BEGIN
FOR I:=1 TO M DO
A[I,I]:=-2*PESO[I]*Q[I];
FOR I:=1 TO M DO
BEGIN

```

```

J:=M+N+1;
A[I,J]:=-2*PESO[I]*RC[I]*Q[I]*T[I];
END;
END;

```

PROCEDURE RESPSTAI;

VAR I:INTEGER;

BEGIN

WRITELN;

gotoxy(1,2);

WRITELN(' FLUXO T TC DPT');

IF (RESPINT='N') OR (RESPINT='n') THEN

FOR I:=M+1 TO M+N DO

BEGIN

LAG[I]:=Y[I];

END;

WRITELN;

FOR I:=1 TO M DO

BEGIN

TC[I]:=Y[I]/RC[I];

teor[I]:=(100*tc[I]*rc[i])/(rc[i]*tc[i]);

END;

FOR I:=1 TO M DO

BEGIN

RAUX1[1,CONTADOR1]:=-TC[I];

GOTOXY(4,I+2);

WRITELN(1);

GOTOXY(18,I+2);

WRITELN(1[I]:2:2);

GOTOXY(27,I+2);

WRITELN(TC[I]:2:2);

GOTOXY(37,I+2);

WRITELN(DPT[I]:2:2);

END;

END;

PROCEDURE IMPRESSAO;

VAR I:INTEGER;

BEGIN

WRITELN(LST,'MINERACAO TABOCA S.A. - SUPERINTENDENCIA DE OPERACOES');

WRITELN;

WRITELN(LST,'PROGRAMA DE AJUSTE DE BALANCO DE MASSAS E METALURGICO');

WRITELN(LST,' POR PFTD/ACN');

WRITELN(LST);

WRITELN(LST);

IF OPCAO1=1 THEN

WRITELN(LST,' BALANCO DE MASSAS');

ELSE

WRITELN(LST,' BALANCO DE MASSA E METALURGICO');

WRITELN(LST);

WRITELN(LST,'PLANTA = ',RESPI);

WRITELN(LST,'FLUXOS= ',M);

WRITELN(LST,'OPERACOES= ',N);

WRITELN(LST);

WRITELN(LST,'VALORES EXPERIMENTAIS DAS MASSAS E OS DESVIOS');

```

WRITELN(LST, 'E SEUS RESPECTIVOS VALORES AJUSTADOS');
WRITELN(LST);
FOR I:=1 TO M DO
BEGIN
  WRITELN(LST, 'R[ ', I, ']= ', R[I]:2:2);
  WRITELN(LST, 'DPH[ ', I, ']= ', DPH[I]:2:2);
  CASE RESP OF
    2: WRITELN(LST, 'GI[ ', I, ']= ', GI[I]:2:2);
    3: WRITELN(LST, 'GC[ ', I, ']= ', GC[I]:2:2);
  END;
  WRITELN(LST, 'RC[ ', I, ']= ', RC[I]:2:2);
  WRITELN(LST, '% MASSA = ', MASSA[I]:2:2);
  WRITELN(LST);
END;
END;

```

PROCEDURE IMPRESSAO;

VAR I:INTEGER;

BEGIN

IF OPCAO=2 THEN

BEGIN

WRITELN(LST, 'MINERACAO IAROCA S.A. - SUPERINTENDENCIA DE OPERACOES ');

WRITELN;

WRITELN(LST, 'PROGRAMA DE AJUSTE DE BALANCO DE MASSAS E METALURGICO ');

WRITELN(LST, ' POR PFTD/ACN');

WRITELN(LST);

WRITELN(LST);

WRITELN(LST, ' BALANCO METALURGICO ');

WRITELN(LST);

WRITELN(LST, 'PLANTA : ', RESFI);

WRITELN(LST, 'FLUXOS: ', M);

WRITELN(LST, 'OPERACOES: ', N);

END

ELSE

WRITELN(LST);

WRITELN(LST, 'VALORES EXPERIMENTAIS DOS TEORES E OS DESVIOS');

WRITELN(LST, 'E SEUS RESPECTIVOS VALORES AJUSTADOS');

WRITELN(LST);

FOR I:=1 TO M DO

BEGIN

WRITELN(LST, 'T[', I, ']= ', T[I]:2:2);

WRITELN(LST, 'RC[', I, ']= ', RC[I]:2:2);

WRITELN(LST, 'DPT[', I, ']= ', DPT[I]:2:2);

CASE RESP OF

2: WRITELN(LST, 'GI[', I, ']= ', GI[I]:2:2);

3: WRITELN(LST, 'GC[', I, ']= ', GC[I]:2:2);

END;

WRITELN(LST, 'TC[', I, ']= ', TC[I]:2:2);

WRITELN(LST, '% TEOR = ', TEOR[I]:2:2);

WRITELN(LST);

END;

END;

PROCEDURE CONFERE;

VAR

```

I:=INTEGER;
BEGIN
  FOR I:=1 TO M+N DO
    IF A[I,I]=0 THEN
      WRITELN('SISTEMA INDETERMINADO OU INCONSISTENTE !');
    END;
END;

PROCEDURE ESTADISTICA;
VAR I,J,RESPA:INTEGER;
    X:VETOR;
    VARIANCIA,SOMATORIA1,SOMATORIA2,DESVIOPADRAO,MEDIA:REAL;
    LABEL 30,60,70;
BEGIN
  WRITELN;
  60:=WRITE('      QUANTOS SAO OS FLUXOS EXISTENTES NO PROCESSO DESSA PLANTA? ');
  READLN(M);
  IF M<0 THEN
    BEGIN
      WRITELN(' PARAMETRO INCOMPATIVEL!! M>0 ');
      GOTO 60;
    END;
  WRITELN;
  70:=WRITE('      E O NUMERO DAS OPERACOES? ');
  READLN(N);
  IF N<0 THEN
    BEGIN
      WRITELN(' PARAMETRO INCOMPATIVEL!! N>0 ');
      GOTO 70;
    END;
  FOR J:=1 TO M DO
    30:=BEGIN
      WRITELN;
      WRITE('      QUANTAS SAO AS AMOSTRAS RELATIVA AO ', J, ' FLUXO? ');
      READLN(RESPA);
      IF RESPA<=1 THEN
        BEGIN
          WRITELN('NUMERO DE AMOSTRAS NAO E SUFICIENTE PARA OS CALCULOS ESTADISTICOS! ');
          GOTO 30;
        END;
      FOR I:= 1 TO RESPA DO
        BEGIN
          WRITE('      ENTRE COM O VALOR DA ', I, ' AMOSTRA: ');
          READLN(X[I]);
        END;
      SOMATORIA1:=0;
      SOMATORIA2:=0;
      FOR I:=1 TO RESPA DO
        SOMATORIA1:=SOMATORIA1 + X[I];
      MEDIA:=SOMATORIA1/RESPA;
      FOR I:= 1 TO RESPA DO
        SOMATORIA2:=SOMATORIA2+(X[I]-MEDIA)*(X[I]-MEDIA);
      VARIANCIA:= SOMATORIA2/(RESPA-1);
      DESVIOPADRAO:=SQRT(VARIANCIA);
      IF DESVIOPADRAO=0 THEN
        BEGIN

```

```

WRITELN(' DESVIO PADRAO = 0 (ZERO) !! PARAMETRO INVALIDO !!');
GOTO 30;
END;
CASE OPCAO1 OF
1:BEGIN
  R[J]:=MEDIA;
  DPM[J]:=DESVIOPADRAO;
  WRITELN;
  WRITE('      MEDIA = ',R[J]:2:2);
  WRITELN('      DESVIO PADRAO = ', DPM[J]:2:2);
  WRITELN;
END;
2:BEGIN
  T[J]:=MEDIA;
  DPT[J]:=DESVIOPADRAO;
  WRITELN;
  WRITE('      MEDIA = ',T[J]:2:2);
  WRITELN('      DESVIO PADRAO = ', DPT[J]:2:2);
  WRITELN;
END;
END;
END;
END;

```

```

PROCEDURE ITERACAO;
VAR RESPFL :CHAR;
    VALOR:INTEGER;
BEGIN
  I:=1;
  REPEAT
    write('      ENTRE COM O FLUXO QUE SERA ALTERADO ');
    READLN(VALOR);
    WRITELN('      ENTRA NOVO VALOR (N); MANTER VALOR INICIAL (I)');
    WRITE ('      MANTER VALOR CALCULADO (C) ');
    READLN(OPCAOV);
    IF (OPCAOV='N') or (OPCAOV='n') THEN
      BEGIN
        WRITE('      ENTRE O NOVO VALOR: ');
        READ(R[VALOR]);
        WRITE('      E O DESVIO: ');
        READLN(DPM[VALOR]);
        END
      ELSE IF (OPCAOV='I') or (OPCAOV='i') THEN
        R[VALOR]:=R[VALOR]
      ELSE IF (OPCAOV='C') or (OPCAOV='c') then
        BEGIN
          R[VALOR]:=R[VALOR];
          DPM[VALOR]:=R[VALOR];
          END;
    WRITELN;
    WRITE('      MAIS ALGUMA ALTERACAO ');
    READLN(RESPFL);
    WRITELN;
    I:=I+1;
  UNTIL (RESPFL='N') OR (RESPFL='n') OR (I=M+1);

```

```
FOR I:=1 TO M DO RAUX1[I,CONTADOR]:=R[I];
CLRSCR;
END;
```

```
PROCEDURE CONVERGENCIA;  
LABEL 90;  
VAR AUXCONT : INTEGER;
```

BEGIN

```
IF CONTADOR > 12 THEN
```

BEGIN

CLRSCK 8

WRITELINE

BRITEL N^o 8

WRITEL, 3 2

```
WRITELN(' NAO E POSSIVEL FAZER MAIS ITERACOES, VERIFIQUE MELHOR OS DADOS !! ');
```

GOTO 200

END

AUXCONT = 0;

WRITE(' DESEJA VERIFICAR A CONVERGENCIA? ');

```
READLN(RESPC);
```

AUXS: $n=1$;

```
IF (RESPC='S') OR (RESPC='c') THEN
```

REPEAT

```
CLRSER;
```

GOTOXY(6,3) ?

WRITELN('VALORES DE ENTRADA');

GOTOXY(6,9);

```
WRITELN('VALORES CALCULADOS');
```

REPEAT

```
AUXCONT := AUXCONT+1;
```

```
FOR I=AUX5 TO (AUX5+2) DO
```

BEGIN

```
GOTOXY(8:AUX:ONT+3,I+4);
```

```
WRITELN(AUX1[I,AUXCONT]#2#2);
```

```
GOTOXY(8*AUXCONT+3,1+10);
```

```
WRITELN(RAUX[1,AUXCONT*2:2]);
```

END;

WRITELN:

```
UNTIL (AUXCONT=6):
```

```
IF CONTADOR > 4 THEN
```

BEGIN

AUXCONT 3:=0:

BRITELN:

WRITELN('TECLE (ENTER) PARA CONTINUAR');

```
READ(KBD,AXS);
```

```
CLSCLR:
```

AX54 7 7 3

REPEAT

```
AUXCONT := AUXCONT + 1;
```

```
FOR I=AUX5 TO (AUX5+2) DO
```

BEGIN

```
GOTOXY(8#AUXCONT+3,I+4);
```

```
WRITELN(AUX1[1,AUXCONT+6]:2:2);
```

```
GETOXY(8*AUXCOUNT+3,1+10);
```

```

        WRITELN(RAUX[I,AUXCONT+3]:=2:=2);
    END;
    WRITELN;
    UNTIL (AUXCONT=6);
    END;
    WRITELN('  TECLA (ENTER) PARA CONTINUAR');
    READ(KBD,AXS);
    AXS:= ' ';
    AUXS:=AUXS+3;
    UNTIL (AUXS >= M+1);
90=END;

```

```

PROCEDURE ITERACAO1;
VAR RESPFL :CHAR;
    VALOR:INTEGER;
BEGIN
    I:=1;
    REPEAT
        write('      ENTRE COM O FLUXO QUE SERA ALTERADO ');
        READLN(VALOR);
        WRITELN('      ENTRA NOVO VALOR (N); MANTER VALOR INICIAL (I)');
        WRITE ('      MANTER VALOR CALCULADO (C) ');
        READLN(OPCAOV);
        IF (OPCAOV='N') or (OPCAOV='n') THEN
            BEGIN
                WRITE('      ENTRE O NOVO VALOR: ');
                READ(t[VALOR]);
                WRITE('      E O DESVIO: ');
                READLN(DPt[VALOR]);
            END
        ELSE IF (OPCAOV='I') or (OPCAOV='i') THEN
            t[VALOR]:=t[VALOR]
        ELSE IF (OPCAOV='C') or (OPCAOV='c') THEN
            BEGIN
                t[VALOR]:=t[VALOR];
                DPT[VALOR]:=t[VALOR];
            END;

        WRITELN;
        WRITE('      MAIS ALGUMA ALTERACAO ');
        READLN(RESPFL);
        WRITELN;
        I:=I+1;
    UNTIL (RESPFL='N') OR (RESPFL='n') OR (I=M+1);
    FOR I:=1 TO M DO RAUX2[I,CONTADOR1]:=t[I];
    CLRSCR;
END;

```

```

PROCEDURE CONVERGENCIA1;
LABEL 90;
VAR AUXCONT : INTEGER;

BEGIN
    IF CONTADOR1 > 12 THEN GOTO 90;

```

```

AUXCONT:=0;
WRITE('      DESEJA VERIFICAR A CONVERGENCIA? ');
READLN(RESPO);
AUXS:=1;
IF (RESPO='S') OR (RESPO='s') THEN
REPEAT
BEGIN
  CLRSCR;
  GOTOXY(6,3);
  WRITELN('VALORES DE ENTRADA');
  GOTOXY(6,9);
  WRITELN('VALORES CALCULADOS');
  REPEAT
    AUXCONT:=AUXCONT+1;
    FOR I:=AUXS TO (AUXS+3) DO
      BEGIN
        GOTOXY(8*AUXCONT+3,I+4);
        WRITELN(RAUX2[I,AUXCONT]=2:2);
        GOTOXY(8*AUXCONT+3,I+10);
        WRITELN(RAUX1[I,AUXCONT]=2:2);
      END;
    WRITELN;
  UNTIL (AUXCONT=6);
  IF CONTADOR > 6 THEN
    BEGIN
      AUXCONT:=0;
      WRITELN;
      WRITELN('  TECLA <ENTER> PARA CONTINUAR');
      READ(KBD,AXS);
      CLRSCR;
      AXS:=' ';
      REPEAT
        AUXCONT:=AUXCONT+1;
        FOR I:=AUXS TO (AUXS+3) DO
          BEGIN
            GOTOXY(8*AUXCONT+3,I+4);
            WRITELN(RAUX2[I,AUXCONT+6]=2:2);
            GOTOXY(8*AUXCONT+3,I+10);
            WRITELN(RAUX1[I,AUXCONT+6]=2:2);
          END;
        WRITELN;
      UNTIL (AUXCONT=6);
    END;
  END;
  WRITELN('  TECLA <ENTER> PARA CONTINUAR');
  READ(KBD,AXS);
  CLRSCR;
  AXS:=' ';
  AUXS:=AUXS+3;
  UNTIL (AUXS >= M+1);
90=END;

```

```

BEGIN (» PROGRAMA PRINCIPAL «)

```

```

TELA1;
REPEAT
CONT:=0;
AXS:=' ';
OPCAOI:=1;
OPCAOV:='N';
CONTADOR:=1;
contador:=1;
RESPP:=1;
RESPE:=0;
RESPC:='N';
RESPINT:='N';
RESPINTT:='N';
RESFEL:='S';
RESP:='S';
RESPE:= 'N';
FOR M:=1 TO 30 DO RESPI[M]:=' ';
FOR I:=1 TO 12 DO
  FOR J:=1 TO 12 DO
    BEGIN
      RAUX[I,J]:=0;
      RAUXT[I,J]:=0;
      RAUX1[I,J]:=0;
      RAUX2[I,J]:=0;
    END;
  FOR M:=1 TO 50 DO
    BEGIN
      GI[M]:=0;
      GC[M]:=0;
      PESO[M]:=0;
      MASSA[M]:=0;
      TEOR[M]:=0;
      R[M]:=0;
      T[M]:=0;
      RC[M]:=0;
      TC[M]:=0;
      DPT[M]:=0;
      DFM[M]:=0;
      Y[M]:=0;
      LAG[M]:=0;
    END;
  FOR M:=1 TO 50 DO
    FOR N:=1 TO 50 DO
      BEGIN
        AUX[M,N]:=0;
      END;
    M:=0;
    N:=0;
    OPCAO;
    30:WINDOW(02,04,74,22);
    CLRSCR;
    CASE OPCAOI OF
    1:BEGIN
      WRITELN;
      WRITE('      DESEJA FAZER CALCULO DA MEDIA E DESVIO PADRAO (MASSA)? (S/N) ');

```

```

READLN(RESPE);
IF (RESPE='S') OR (RESPE='s') THEN
  BEGIN
    CLRSCR;
    ESTATISTICA;
  END
ELSE
  ENTRADA1;
CLRSCR;
LIMPA1;
RESTRICOES1;
PESOI;
MATRIZI;
COND_TRI;
CONFERE;
IF CONT() < 0 THEN GOTO 10;
CALCULA;
WRITELN;
WRITELN;
CLRSCR;
RESPOSTA1;
WRITELN;
WRITE('      DESEJA FAZER NOVA ITERACAO? ');
READLN(RESPI1);
WRITELN;
IF (RESPI1='S') OR (RESPI1='s') THEN
  REPEAT
    CONTADOR:=CONTADOR+1;
    ITERACAO;
    CLRSCR;
    LIMPA1;
    RES1_RESTRI;
    PESOI;
    MATRIZI;
    COND_TRI;
    CONFERE;
    IF CONT() < 0 THEN GOTO 10;
    CALCULA;
    WRITELN;
    WRITELN;
    CLRSCR;
    RESPOSTA1;
    WRITELN;
    CONVERGENCIA;
    WRITE('      DESEJA FAZER NOVA ITERACAO? ');
    READLN(RESPI1);
    WRITELN;
  UNTIL (RESPI1='N') OR (RESPI1='n');

  WRITELN;
  WRITELN;
END;
2:BEGIN
  WRITELN;
  WRITE('      DESEJA FAZER CALCULO DA MEDIA E DESVIO PADRAO (TEOR)? (S/N) ');

```

```

READLN(RESPE);
WRITELN;
IF (RESPE='S') OR (RESPE='C') THEN
  BEGIN
    CLRSCR;
    ESTATISTICA;
  END
ELSE
  ENTRADAII;
CLRSCR;
LIMPAM;
RESTRICOESII;
PESII;
MATRIZII;
COND_TRI;
CONFERE;
IF CONT() < 0 THEN GOTO 10;
CALCULA;
CLRSCR;
WRITELN;
WRITELN;
RESPOSTAII;
WRITELN;
WRITE('      DESEJA FAZER NOVA ITERACAO? ');
READLN(RESPIII);
WRITELN;
IF (RESPIII='S') OR (RESPIII='C') THEN
  REPEAT
    CONTADORI:=CONTADORI+1;
    ITERACAOI;
    CLRSCR;
    LIMPAMI;
    REST_RESTRI;
    PESII;
    MATRIZII;
    COND_TRI;
    CONFERE;
    IF CONT() < 0 THEN GOTO 10;
    CALCULA;
    WRITELN;
    WRITELN;
    CLRSCR;
    RESPOSTAII;
    WRITELN;
    CONVERGENCIAT;
    WRITE('      DESEJA FAZER NOVA ITERACAO? ');
    READLN(RESPIII);
    WRITELN;
  UNTIL (RESPIII='N') OR (RESPIII='n');
WRITELN;
WRITELN;
END;
3:BEGIN
  WRITELN;
  WRITE('      DESEJA FAZER CALCULO DA MEDIA E DESVIO PADRAO (MASSA)? (S/N) ');

```

```

READLN(RESPE);
IF (RESPE='S') OR (RESPE='L') THEN
  BEGIN
    OPCAOI:=1;
    CLRSCR;
    ESTATISTICA;
    OPCAOI:=3;
  END
ELSE
  ENTRADA1;
  CLRSCR;
  LIMPAR;
  RESTRICOES1;
  PESOI;
  MATRIZI;
  COND_TRI;
  CONFERE;
  IF CONT() < 0 THEN GOTO 10;
  CALCULA;
  CLRSCR;
  WRITELN;
  WRITELN;
  RESPOSTA1;
  WRITELN;
  WRITE('      DESEJA FAZER NOVA ITERACAO? ');
  READLN(RESPI);
  WRITELN;
  IF (RESPI='S') OR (RESPI='L') THEN
    REPEAT
      CONTADOR:=CONTADOR+1;
      ITERACAO;
      CLRSCR;
      LIMPAR;
      REST_RESTRI;
      PESOI;
      MATRIZI;
      COND_TRI;
      CONFERE;
      IF CONT() < 0 THEN GOTO 10;
      CALCULA;
      WRITELN;
      WRITELN;
      CLRSCR;
      RESPOSTA1;
      WRITELN;
      CONVERGENCIA;
      WRITE('      DESEJA FAZER NOVA ITERACAO? ');
      READLN(RESPI);
      WRITELN;
    UNTIL (RESPI='N') OR (RESPI='n');
  WRITELN;
  WRITELN;
  CLRSCR;
  WRITELN;
  WRITE('      DESEJA FAZER CALCULO DA MEDIA E DESVIO PADRAO (TEOR)? (S/N) ');

```

```

READLN(RESPE);
WRITELN;
IF (RESPE='S') OR (RESPE='c') THEN
  BEGIN
    OPCAOI:=2;
    CLRSCR;
    ESTATISTICA;
    OPCAOI:=3;
  END
ELSE
  ENTRADAII;
CLRSCR;
LIMPAMI;
REST_RESTRI;
PESQII;
MATRIZII;
COND_TRI;
CONFERE;
IF CONT(>) <> 0 THEN GOTO 10;
CALCULA;
CLRSCR;
WRITELN;
WRITELN;
RESPOSTAII;
writeLn;
WRITE('      DESEJA FAZER NOVA ITERACAO? ');
READLN(RESPIINTT);
WRITELN;
IF (RESPIINTT='S') OR (RESPIINTT='c') THEN
  REPEAT
    CONTADORI:=CONTADORI+1;
    ITERACAOI;
    CLRSCR;
    LIMPAMI;
    REST_RESTRI;
    PESQII;
    MATRIZII;
    COND_TRI;
    CONFERE;
    IF CONT(>) <> 0 THEN GOTO 10;
    CALCULA;
    WRITELN;
    WRITELN;
    CLRSCR;
    RESPOSTAII;
    WRITELN;
    CONVERGENCIAT;
    WRITE('      DESEJA FAZER NOVA ITERACAO? ');
    READLN(RESPIINTT);
    WRITELN;
  UNTIL (RESPIINTT='N') OR (RESPIINTT='n');
WRITELN;
writeLn;
END;
4:GOTO 20;

```

```

END;
CLRSCL;
WRITELN;
WRITELN;
WRITELN;
WRITELN;
WRITE('      DESEJA IMPRIMIR OS RESULTADOS ? (S/N) ');
READ(RESPI);
WRITELN;
IF (RESPI='S') OR (RESPI='s') THEN
  IF (OPCAOI=1) THEN
    IMPRESSAOM
  ELSE IF (OPCAOI=2) THEN
    IMPRESSAOT
  ELSE
    BEGIN
      IMPRESSAOM;
      IMPRESSAOT;
    END;
  RESPI:= ' ';
  WRITELN;
  10:WRITE('      DESEJA FAZER NOVOS CALCULOS ? (S/N) ');
  READLN(RESPI);
  WRITELN;
  WRITELN;
  WRITELN;
  UNTIL (RESPI='N') OR ( RESPI='n');
20:CLRSCL;
  WRITELN;
  WRITELN;
  CLRSCL;
  GOTOXY(20,3);
  WRITELN('      TENHA UM BOM DIA');
  GOTOXY(2,6);
END.

```

```

(* ABM = AJUSTE BALANÇO DE MASSAS *)
(* ABMET = AJUSTE BALANÇO METALÚRGICO *)
(* PROCEDURE OPCAO = ESCOLHA DA OPCAO PARA O AJUSTE *)
(* PROCEDURE REST.RETRI = RECEBE AS RESTRICOES USADAS NO ABM *)
(* PROCEDURE ENTRADAJ = ENTRADA DE DADOS PARA O ABM *)
(* PROCEDURE ENTRADAI = ENTRADA DE DADOS PARA O ABMET *)
(* PROCEDURE LIMPAM = LIMPA A MATRIZ E UM VETOR AUXILIAR PARA OS CALCULOS *)
(* PROCEDURE LIMPAMI = LIMPA SO A MATRIZ A SER UTILIZADA *)
(* PROCEDURE RESTRICOESII = RESTRICOES PARA O ABMET *)
(* PROCEDURE RESTRICOESI = ENTRADA DE RESTRICOES PARA O ABM *)
(* PROCEDURE PESOI = CALCULA O 1/V PARA O ABM *)
(* PROCEDURE PESOII = CALCULA O 1/V PARA O ABMET *)
(* PROCEDURE MATRIZI = PREENCHE A MATRIZ PARA OS CALCULOS DO ABM *)
(* PROCEDURE MATRIZII = PREENCHE A MATRIZ PARA OS CALCULOS DO ABMET *)
(* PROCEDURE COND.TRI = EFETUA A CONDENSACAO PIVOTAL E A TRIANGULARIZACAO *)
(* PROCEDURE CALCULA = EFETUA O CALCULO DA MATRIZ TRIANGULARIZADA *)
(* PROCEDURE RESPOSTAI = RESPOSTA PARA O ABM *)
(* PROCEDURE RESPOSTAII = RESPOSTA PARA O ABMET *)
(* PROCEDURE IMPRESSAOM = IMPRESSAO DO ABM *)

```

```

(*) PROCEDURE IMPRESSAO : IMPRESSAO DO ADNET *)
(*) PROCEDURE FLOW : MOSTRA QUANTOS SAO OS FLUXOS E AS OPERACOES *)
(*) PROCEDURE CONFERE : CONFERE SE A DIAGONAL DA MAT. A 7E DIFERENTE ZERO *)
(*) PROCEDURE ESTATISTICA : CALCULA MEDIA E DESVIO PADRAO *)
(*) VARIAVEIS GLOBAIS: *)
(*) OFCADI - BAL.MASSAS/BAL.METALURGICO/BAL.MASSAS E METAL. *)
(*) M - NUMERO DE FLUXOS *)
(*) N - NUMERO DE OPERACOES *)
(*) RESPP - DESVIO PADRAO/GRAU DE INCERTEZA/GRAU DE CERTEZA *)
(*) RESPB - FECHAR BALANCO/AJUSTAR BALANCO *)
(*) RESP - IMPRIMIR OU NAO *)
(*) RESPE - CALCULO ESTATISTICOS OU NAO *)
(*) GI - GRAU DE INCERTEZA *)
(*) GC - GRAU DE CERTEZA *)
(*) Q - ARMAZENA QUANTAS VEZES O FLUXO APARECE NO PROCESSO *)
(*) PESO - PONDERADOR CALCULADO A PARTIR DO DESVIO PADRAO E Q *)
(*) MASSA - PORCENTAGEM DA MASSA *)
(*) TEOR - PORCENTAGEM DO TEOR *)
(*) R - VALOR EXPERIMENTAL DA MASSA *)
(*) T - VALOR EXPERIMENTAL DO TEOR *)
(*) RC - VALOR CALCULADO DA MASSA *)
(*) TC - VALOR CALCULADO DO TEOR *)
(*) DPT - DESVIO PADRAO DO TEOR *)
(*) DPM - DESVIO PADRAO DA MASSA *)
(*) Y - AUXILIAR NO CALCULO DA MATRIZ *)
(*) LAG - LAGRANGIANO *)
(*) A - MATRIZ USADA PARA OS CALCULOS *)
(*) AUX - MATRIZ AUXILIAR PARA ARMAZENAR AS RETRICOES *)
(*) VARIAVEIS LOCAIS: *)
(*) I - CONTADOR AUXILIAR *)
(*) J - CONTADOR AUXILIAR *)
(*) L - AUXILIAR CALCULO DA MATRIZ *)
(*) LIN - AUXILIAR CALCULO DA MATRIZ *)
(*) P - AUXILIAR CALCULO DA MATRIZ *)
(*) MAX - AUXILIAR CALCULO DA MATRIZ *)
(*) E - AUXILIAR CALCULO DA MATRIZ *)
(*) X - AUXILIAR CALCULO DA MATRIZ *)
(*) NUM - AUXILIAR NA LEITURA DAS RESTRICOES *)
(*) RESPA - NUMERO DE AMOSTRAS *)
(*) X - AUXILIAR NA LEITURA DOS VALORES DAS AMOSTRAS *)
(*) VARIANCIA - VARIANCIA *)
(*) SOMATORIA1 - SOMATORIA DAS AMOSTRAS *)
(*) SOMATORIA2 - SOMATORIA DAS AMOSTRAS *)

```