

Programa para o cálculo de volumes de terraplenagem dos projetos de estradas

* Francisco Carvalho de Cerqueira

Trata-se de um programa elaborado em linguagem basic, empregando-se o processo analítico no cálculo das áreas das seções transversais, tendo-se ainda estabelecido seções especiais para terrenos com declividade transversais iguais ou superiores às dos taludes de aterros.

1. INTRODUÇÃO

Concluído o projeto geométrico de uma estrada, torna-se necessário calcular os volumes de terra que serão escavados nos cortes, bem como os volumes que serão depositados nos aterros. Embora considerando que o custo da terraplenagem é obtido computando-se apenas os volumes escavados, mesmo assim, faz-se necessário o cálculo dos volumes de aterros a fim de ser estudada a compensação entre os cortes e os aterros.

Inicialmente calculam-se as áreas das seções transversais passando-se em seguida ao cálculo dos volumes. O programa prevê ainda o cálculo dos volumes compensados lateralmente, relativos aos trechos da seção mista, bem como o cálculo das ordenadas para a elaboração do diagrama de Bruckner.

2. CÁLCULO DAS ÁREAS DAS SEÇÕES TRANSVERSAIS

Para esse fim, estando o eixo do projeto estaqueado, consideram-se as seções de 20 em 20m ou de 10 em 10m, segundo a natureza do terreno; calcula-se a área de cada uma dessas seções e, com estas áreas, faz-se então a cubação, que é o cálculo dos volumes de terraplenagem do projeto.

As áreas serão determinadas pelo processo analítico, tendo em vista que por esse método elas serão calculadas sem que haja necessidade de desenhar as seções.

* Engenheiro Civil

* Professor de "Tecnologia e Economia dos Transportes" e "Topografia" da UNIFOR.

* Especialista em Pavimentação e Economia dos Transportes.

As seções transversais são classificadas em três tipos a saber: seção em corte; seção em aterro e seção mista.

Seção em corte — É aquela em que a plataforma se localiza abaixo do terreno natural. (fig. 1)

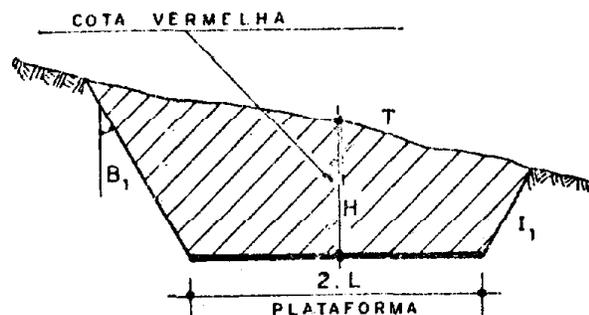


Fig. 1 - SEÇÃO EM CORTE

Seção em aterro — É aquela em que a plataforma se localiza acima do terreno natural. (fig. 2)

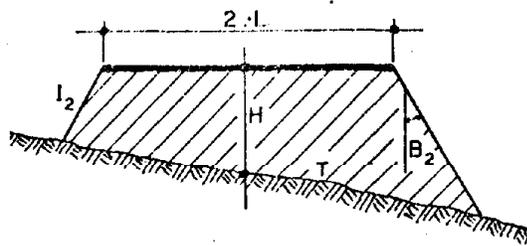


Fig. 2 - SEÇÃO EM ATERRO

Seção mista — É aquela em que a plataforma corta o terreno natural. (fig. 3)

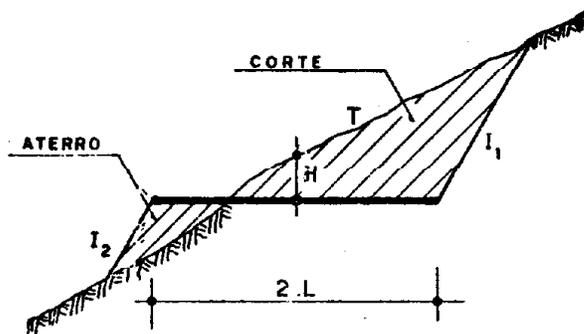


Fig. 3 - SEÇÃO MISTA

Elementos da Seção Transversal:

a) Plataforma — É a parte da seção que vai de um bordo a outro, será representada por 2.L.

b) Cota Vermelha — É a distância vertical entre o eixo e o nível do terreno, representa-se por H. A cota vermelha dos cortes terá sinal positivo e a dos aterros sinal negativo.

c) Taludes de corte ou aterro — São as declividades das rampas de cortes ou saias dos aterros, os taludes de corte serão representados por I_1 e os de aterros por I_2 , sendo $I_1 = \cotg B_1$ e $I_2 = \cotg B_2$. (fig. 1, 2 e 3).

d) Declividade do terreno — É a declividade do perfil transversal do terreno natural, medido pela tangente do seu ângulo de inclinação. Será representada por T.

Para se obter a declividade do terreno, traça-se sobre o projeto em planta, um segmento AB normal ao eixo, com 20m para cada lado e conta-se o número de curvas de nível compreendidas nos 40m. Considerando-se que a planta de exploração foi desenhada com curvas de nível espaçadas de metro em metro, a declividade média será determinada pela expressão:

$$T = N/40$$

onde N será o total de curvas de nível compreendidas no segmento AB e T a declividade média do terreno. (fig. 4)

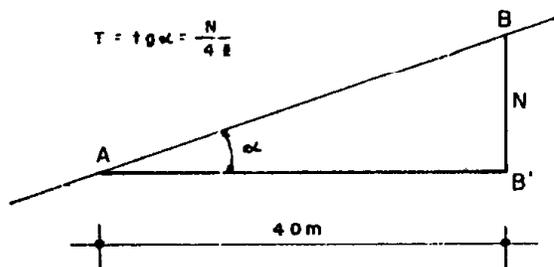
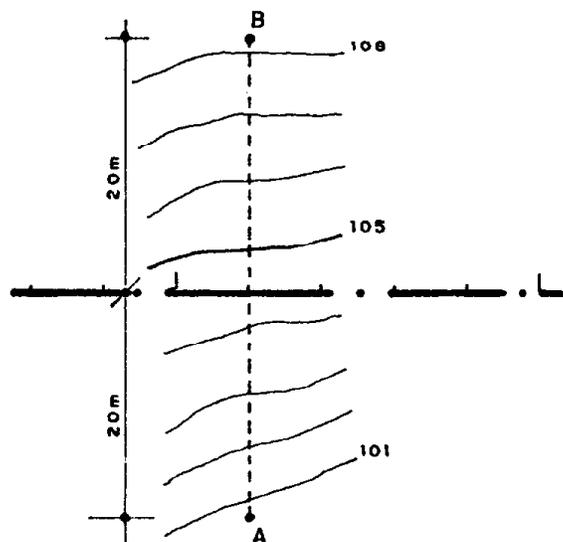


Fig. 4 - DECLIVIDADE DO TERRENO



Fórmula para seção plena:

Tratando-se de uma seção plena, isto é, toda em corte ou toda em aterro, a área será calculada pela fórmula:

$$S = \frac{I \cdot (H + L \cdot I)^2}{I^2 - T^2} - L^2 \cdot I$$

Sendo S a área da seção transversal, devendo-se tomar $I = I_1$ nas seções em corte, $I = I_2$ nas seções em aterro e H em valor absoluto, quer se trate de seção em corte ou de seção em aterro.

Fórmulas para seção mista:

a) Parte de Corte

A parte de corte da Seção Mista é calculada pela fórmula:

$$S_c = \frac{I_1 \cdot (L \cdot T + H)^2}{2 \cdot T \cdot (I_1 - H)}$$

onde S_c é a área da parte de corte.

b) Parte de Aterro

A parte de Aterro é calculada pela fórmula:

$$S_a = \frac{I_2 \cdot (L \cdot T - H)^2}{2 \cdot T \cdot (I_2 - T)}$$

Onde S_a é a área da parte de aterro.

O valor da cota vermelha H será considerado com o seu sinal algébrico, isto é, positivo quando estiver localizado na parte do corte e negativo quando estiver na parte de aterro (fig. 5).

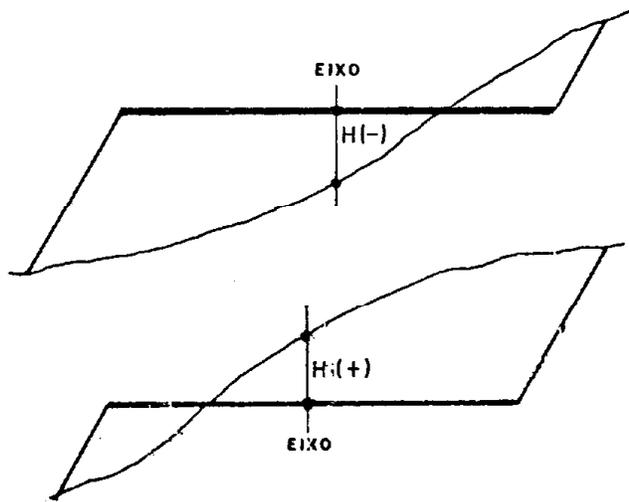


Fig. 5 - SINAL DA COTA VERMELHA

O valor limite da cota vermelha que separa as seções mistas das seções plenas, é obtido quando $L.T - H = 0$.

$$\text{Segue } H(\text{Lim}) = L.T$$

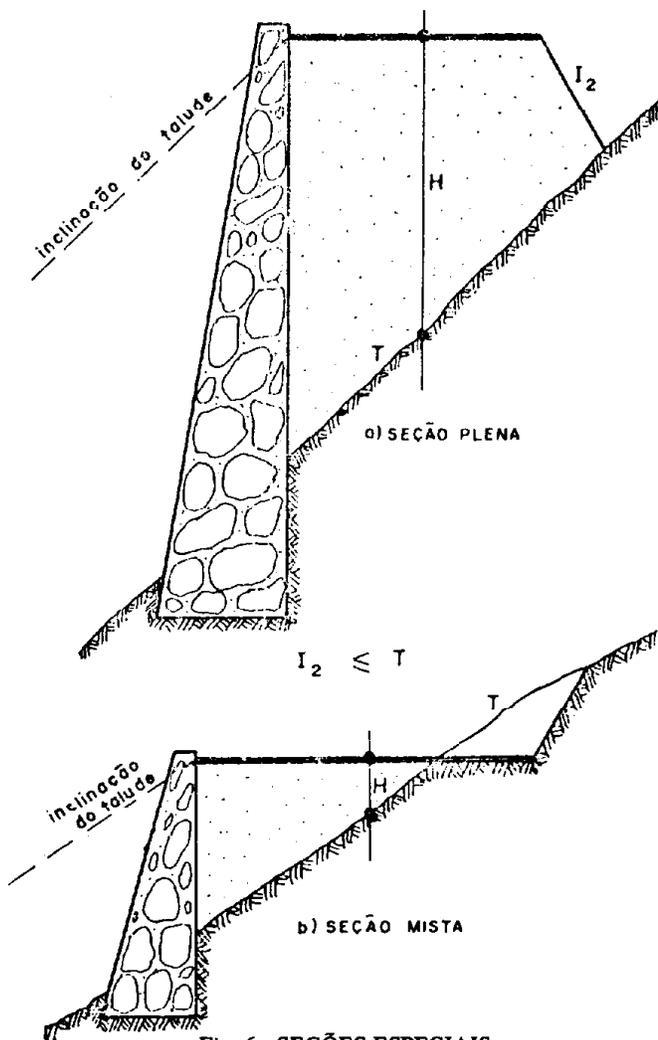


Fig. 6 - SEÇÕES ESPECIAIS

Seções especiais

Ocasionalmente em travessias de montanhas, constatam-se terrenos de meia encosta com inclinação muito acentuada, tornando sua declividade igual ou superior à do talude. Nestes casos, adotamos soluções especiais para a estabilidade dos aterros, como muros de arrimo, terra armada, fogueira de sustentação, etc. As áreas dessas seções dependem do tipo de solução adotada. Tendo em vista permitir continuidade de processamento dos cálculos das áreas em todas as situações, será previsto neste trabalho, para estas ocorrências, a construção de muros de arrimo, passando pelo bordo correspondente (Fig. 6).

Fórmulas para cálculo das áreas das Seções Especiais

a) Seção Plena:

A área da seção plena de aterro, possuindo um plano vertical de sustentação passando pelo bordo do lado inferior do terreno (fig. 6 - a) será dada pela fórmula:

$$S = 2 \cdot L \cdot H + \frac{(H - L \cdot T)^2}{2 \cdot (I_2 + T)}$$

Onde a medida da cota vermelha H é tomada em valor absoluto.

b) Seção Mista:

A área da seção mista correspondente à parte de aterro, possuindo um plano vertical de sustentação passando pelo bordo (fig. 6 - b), será dada pela fórmula:

$$S = \frac{(L \cdot T - H)^2}{2 \cdot T}$$

Sendo que o valor da cota vermelha H será considerado com seu sinal algébrico.

3. CÁLCULO DOS VOLUMES

Os volumes são calculados associando-se a um prisma, o corpo da terraplenagem entre duas seções consecutivas, que se denomina de interperfil.

O volume de cada interperfil será obtido pela fórmula:

$$V = (S_1 + S_2) \cdot \frac{D}{2}$$

Onde V é o volume do interperfil, S_1 e S_2 as áreas das duas seções e D a distância entre elas (fig. 7).

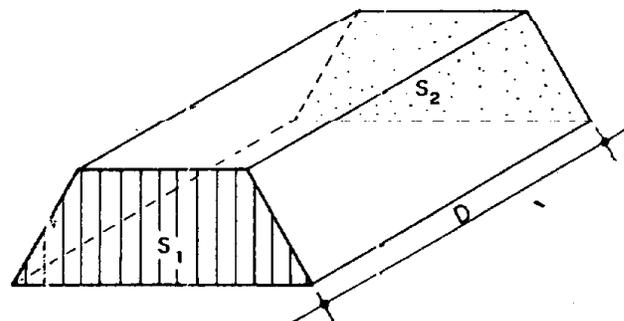


Fig. 7 - VOLUME DO INTERPERFIL

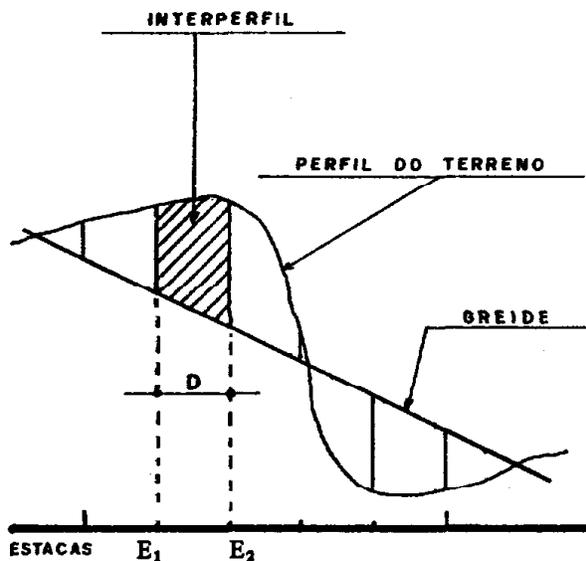


Fig. 7 - Volume do Interperfil

4. COMPENSAÇÃO LATERAL

A compensação lateral, refere-se a volumes que são movimentados no sentido transversal, quando o interperfil é constituído de seções mistas (Fig. 8). Apenas os volumes excedentes são transportados no sentido longitudinal.

A compensação lateral corresponde ao volume obtido da menor área da seção mista.

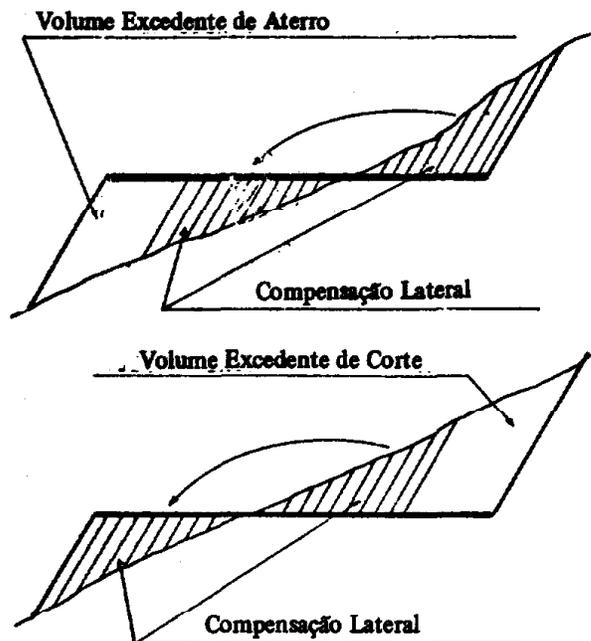


Fig. 8: Compensação Lateral.

5. ORDENADAS DO DIAGRAMA DE BRUCKNER.

O Diagrama de Bruckner, também chamado diagrama das massas é o método mais utilizado na distribuição dos materiais escavados, permitindo também determinar com rapidez a distância média de transporte. É obtido construindo-se numa determinada escala, o perfil de volumes acumulados. As ordenadas do diagrama de Bruckner, consistem portanto nos volumes acumulados correspondentes a cada estaca, sendo os volumes de corte tomados com o sinal positivo e os aterro com o sinal negativo (Fig. 9).

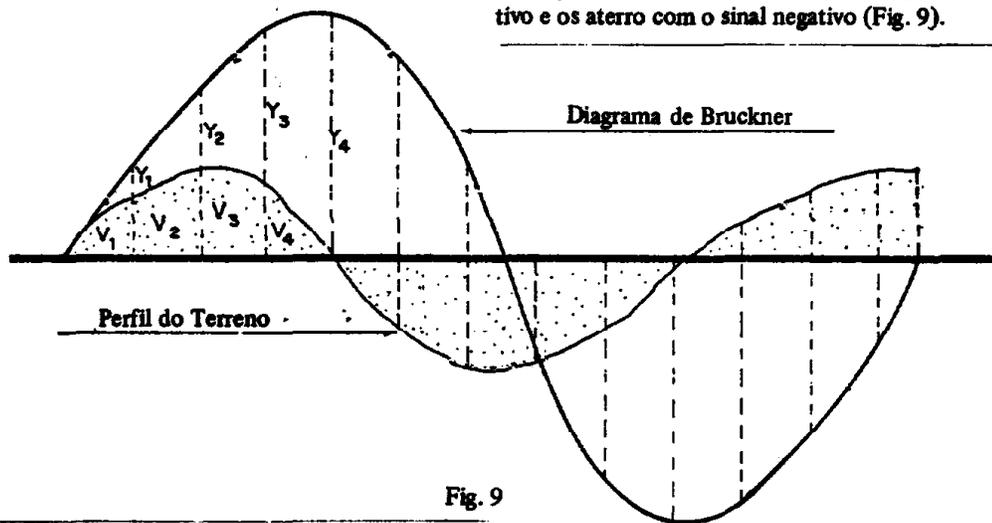


Fig. 9

O volume excedente será então:

$$V_e = V_c - V_a$$

Onde V_c é o volume da parte de corte e V_a o volume da parte de aterro. O volume excedente V_e será de corte se o resultado da operação for positivo ou de aterro se for negativo.

Tem-se:

$$Y_1 = V_1, Y_2 = Y_1 + V_2, Y_3 = Y_2 + V_3 \text{ etc.}$$

Onde Y_1, Y_2, Y_3, \dots representam as ordenadas de Bruckner e V_1, V_2, V_3, \dots representam os volumes excedentes, isto é, os volumes dos interperfis descontados da compensação lateral, se houver.

6. FOLHA DE CUBAÇÃO.

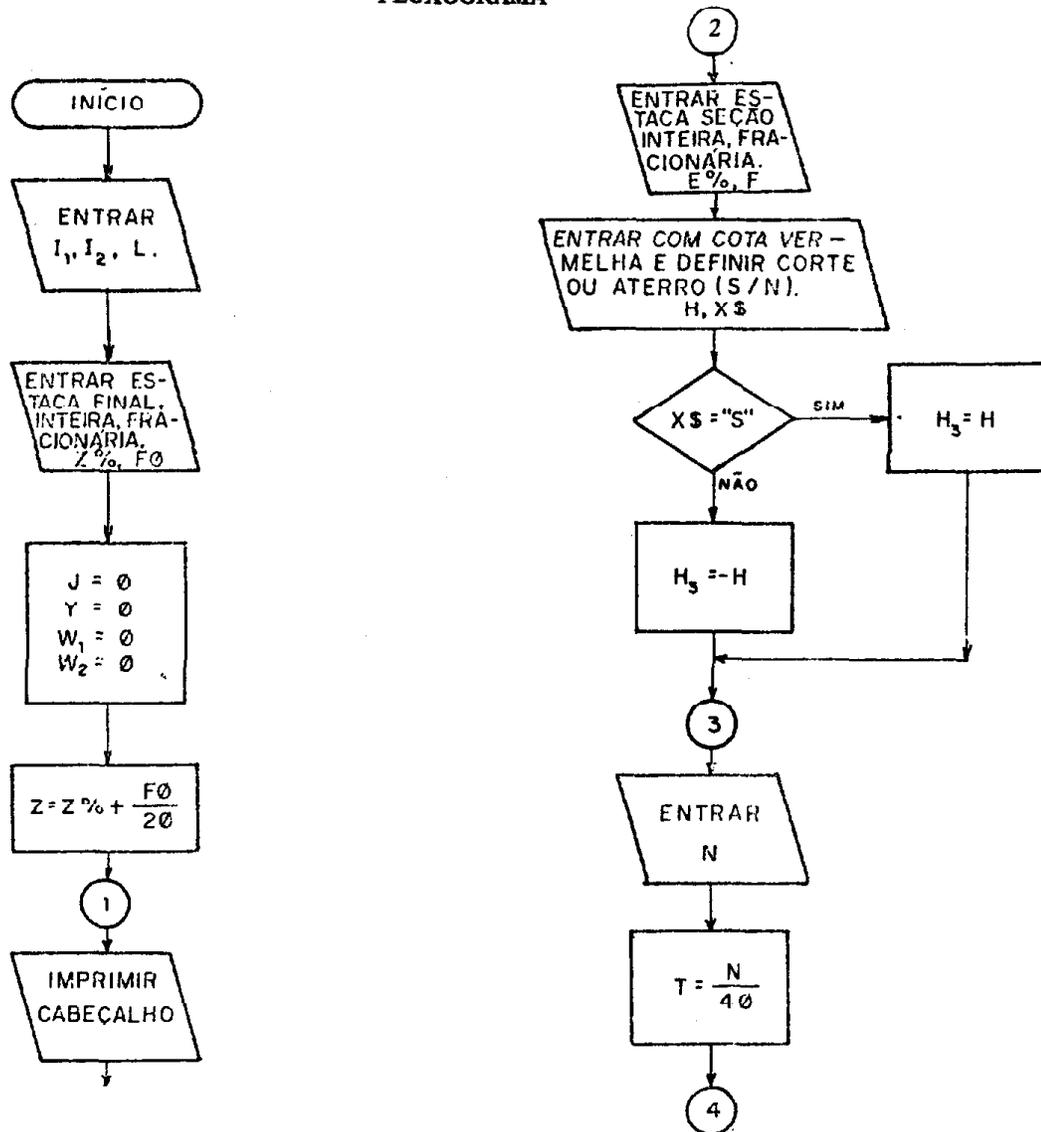
Os elementos calculados vão sendo registrados numa planilha (Folha de Cubação), conforme modelo apresentado na Fig. 10.

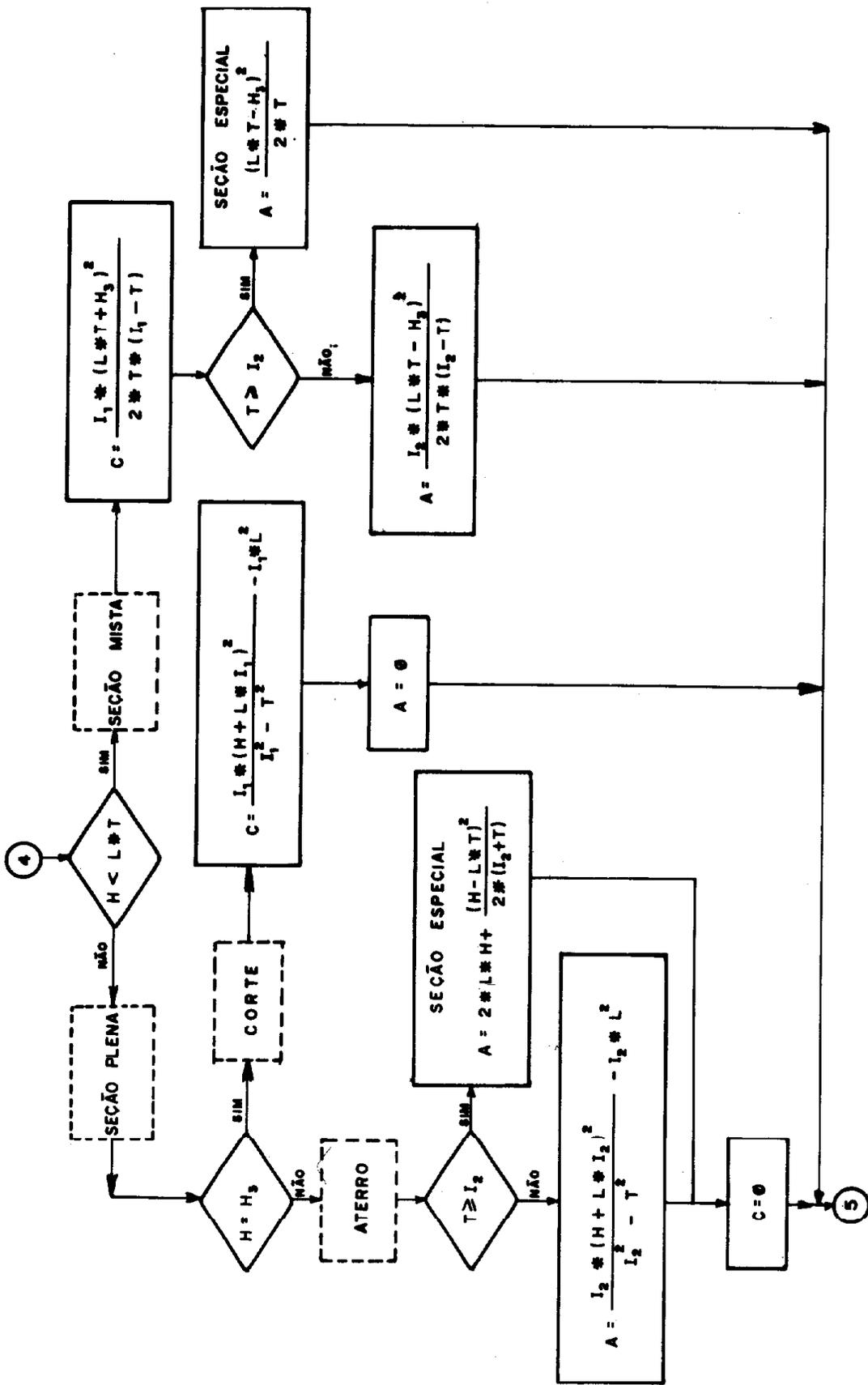
FOLHA DE CUBAÇÃO

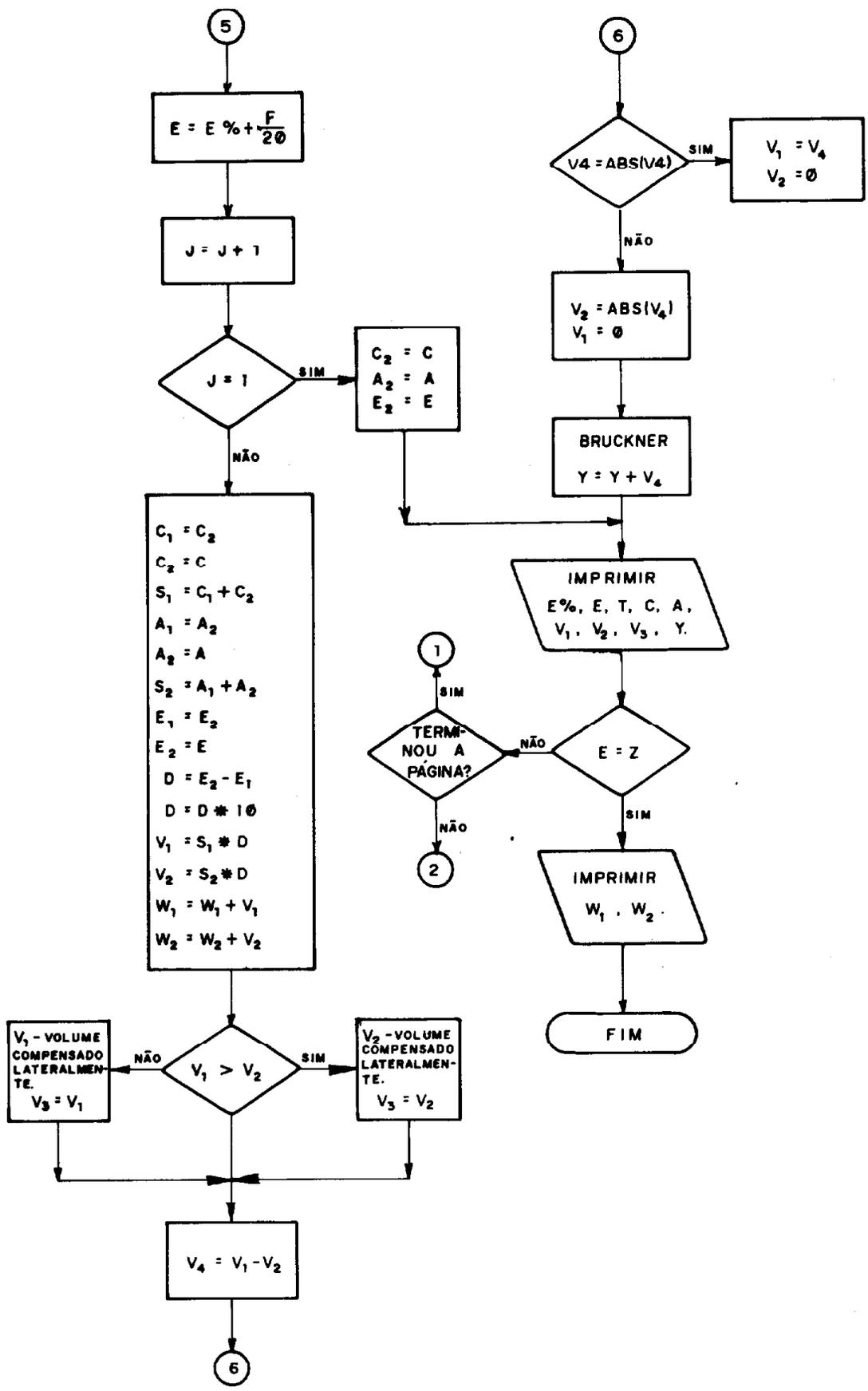
ESTACAS		DECLIVIDADE DO TERRENO	ÁREAS		VOLUMES EXCED.		COMPENS. LATERAL	ORDENAD. DE BRUCKNER
INTEIRAS	FRAÇION.		CORTE	ATERRO	CORTE	ATERRO		

Fig. 10 – Folha de Cubação

FLUXOGRAMA







```

1Ø REM "CALCULO DE VOLUMES"
2Ø CLS
3Ø INPUT "Entre com talude de corte, aterro e semiplata-
forma:"; I1,12,L
4Ø INPUT "Entre com a estaca final (inteira e fraciona-
ria):"; Z %, FØ
5Ø J = Ø: Y = Ø: W1 = Ø: W2 = Ø
6Ø Z = Z% + FØ/2Ø: GOSUB 55Ø
7Ø INPUT "Estaca da secao (inteira e fracionaria):"; E%,F
8Ø INPUT "Cota vermelha e definir corte ou aterro (s/n):"
H,X,S
9Ø IF X $ = "S" THEN H3 = H: GOTO 11Ø
1ØØ H3 = -H
11Ø INPUT "Entre com o numero de curvas de nivel:"; N
12Ø T = N/4Ø:CLS
13Ø IF H < L *T THEN 23Ø
14Ø REM "AREA DA SECAO PLENA"
15Ø IF H = H3 THEN 2ØØ
16Ø REM "SECAO EM ATERRO"
17Ø IF T >= I2 THEN A = 2 * L *H + (H-L *T) [ 2/(2 *
(I2 + T))]: GOTO 19Ø
18Ø A = I2 *(H + L *I2) [ 2/(I2[ 2 - T[ 2] - I2 *L[ 2
19Ø C = Ø: GOTO 27Ø
2ØØ REM "SECAO EM CORTE"
21Ø C = I1 *(H + L *I1) [ 2/(I1[ 2 - T[ 2] - I1 *L[ 2
22Ø A = Ø: GOTO 27Ø
23Ø REM "AREAS DA SECAO MISTA"
24Ø C = I1 *(L *T + H3) [ 2/(2 *T *(I1-T))
25Ø IF T >= I2 THEN A = (L *T - H3) [ 2/(2 *T): GOTO
27Ø
26Ø A = I2 *(L *T - H3) [ 2/(2 *T *(I2 - T))
27Ø E = E% + F/2Ø
28Ø J = J + 1
29Ø IF J = 1 THEN C2 = C: A2 = A: E2 = E: GOTO 46Ø
3ØØ C1 = C2 : C2 = C
31Ø S1 = C1 + C2
32Ø A1 = A2: A2 = A
33Ø S2 = A1 + A2
34Ø E1 = E2: E2 = E
35Ø D = E2 - E1 : D = D *1Ø

36Ø V1 = S1 *D
37Ø V2 = S2 *D
38Ø W1 = W1 + V1
39Ø W2 = W2 + V2
4ØØ IF V1 > V2 THEN V3 = V2: GOTO 42Ø
41Ø V3 = V1
42Ø V4 = V1 - V2
43Ø IF V4 = ABS (V4) THEN V1 = V4: V2 = 0: GOTO 45Ø
44Ø V2 = ABS (V4) : V1 = Ø
45Ø Y = Y + V4
46Ø T = INT (T *1ØØØ) : C = INT (C *1ØØØ) / 1ØØØ: A = INT
(A *1ØØØ) / 1ØØØ
47Ø V1 = INT (V1 *1ØØØØ) / 1ØØØØ: V2 = INT (V2 *1ØØØØ)/
1ØØØØ: V3 = INT (V3 *1ØØØØ) / 1ØØØØ: Y = INT (Y *
1ØØØØ) / 1ØØØØ
48Ø GOSUB 63Ø
49Ø IF E = Z THEN 52Ø
5ØØ IF M = 64 THEN LPRINT: GOTO 6Ø
51Ø M = M + 1 : GOTO 7Ø
52Ø LPRINT "CORTE:"; W1, "ATERRO:"; W2
53Ø LPRINT "VOLUMES TOTAIS"
54Ø END
55Ø REM IMPRIMIR O CABECALHO"
56Ø K = K + 1
57Ø LPRINT : LPRINT
58Ø LPRINT "FOLHA DE CUBACAO"; TAB (64); "PA-
GINA"; K
59Ø LPRINT TAB(3); "ESTACAS"; TAB (14); "DECL.";
TAB (23); "AREAS"; TAB (34); "VOLUMES EXCE-
DENTES"; TAB (55); "COMPENS."; TAB (65);
"ORDENADAS"
6ØØ LPRINT "INT."; TAB (7); "FRAC."; TAB(14);
"TERR."; TAB(19); "CORTE"; TAB(27); "ATER-
RO"; TAB(35); "CORTE"; TAB(45); "ATERRO";
TAB(55); "LATERAL"; TAB(65); "DE BRUCKNER"
61Ø M = 5
62Ø RETURN
63Ø REM "IMPRIMIR RESULTADOS"
64Ø LPRINT E% ; TAB(7); F; TAB(14); T; TAB(19); C;
TAB(27); A; TAB(35); V1; TAB(45); V2; TAB(55);
V3; TAB(65); Y
65Ø RETURN

```