

SISTEMATIZAÇÃO DE TERRENOS PARA IRRIGAÇÃO

Prof. Raimundo Nonato Távora Costa – DENA/CCA/UFC

01. Sistematização consiste na técnica de escavar(cortar), transportar e aterrar o solo, ou simplesmente movê-lo e aplainá-lo, mudando a configuração original do terreno, com o objetivo de tornar sua superfície com declividades uniformes em uma ou nas duas direções, conforme observa-se na ilustração da Figura 01.

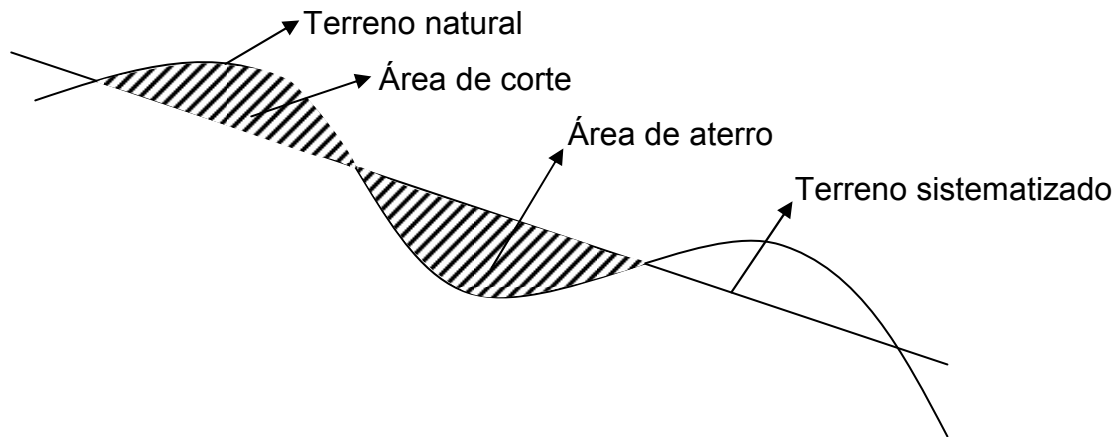


Figura 01. Ilustração do processo de sistematização de um terreno

Os trabalhos necessários à sistematização podem ser distintos, de acordo com o grau de regularização e uniformização original do terreno:

1.1. Aplainamento ou alisamento do solo - quando a topografia original é regular, exige apenas uniformização, sendo utilizados escarificadores, gadagens, etc.

1.2. Desmonte e/ou aterro - quando a topografia original é regular, mas apresenta pequenas elevações ou depressões, sendo necessários o uso de buldozer e o acabamento com patrol ou niveladoras.

1.3. Terraplanagem - quando a topografia original é irregular e desuniforme, exigindo maiores movimentos de terra, utilizando-se tratores de esteira, pá carregadeira e caminhão basculante, sendo o acabamento realizado com patrol ou niveladora.

02. Vantagens e limitações da sistematização:

2.1. Vantagens:

2.1.1. Possibilidade de irrigação por métodos superficiais, com maior eficiência no controle e aplicação da água;

2.1.2. Melhora a drenagem superficial do solo;

2.1.3. Diminui a erosão do solo e proporciona uma menor lixiviação de fertilizantes;

2.1.4. Melhora a eficiência de irrigação, proporcionando uma economia de água ou ampliação da área irrigada.

2.2. Limitações:

2.2.1. Custo de investimento elevado;

2.2.2. Possibilidade de expor o subsolo infértil;

2.2.3. Mesmo não expondo o subsolo, haverá queda temporária de produtividade nas zonas de corte.

03. Fases do planejamento e execução do projeto (trabalhos de campo e escritório):

3.1. Reconhecimento da área e dos solos: definição da cultura e do sistema de irrigação a ser utilizado, além da necessidade e grau da sistematização.

3.2. Escolha da época de operações: durante o período não chuvoso.

3.3. Desmatamento e limpeza do terreno: aconselha-se que após as operações de desmatamento e limpeza, o terreno seja gradeado, e se possível sejam efetuadas algumas passadas com niveladoras, tendo em vista aumentar o rendimento dos trabalhos topográficos e das máquinas posteriormente.

3.4. Levantamento planialtimétrico: em áreas com declives desuniformes e acentuados, recomenda-se a divisão destas em parcelas, as quais devem ser orientadas a partir de um estudo das curvas de nível do terreno. As curvas de nível, para uma melhor visualização, devem ter as seguintes equidistâncias verticais, em função das declividades do terreno:

Declividade do terreno (%)	Equidistância vertical (cm)
0 - 1	5 – 15
1 - 2	15 – 30
2 - 5	30 – 50
5 - 10	50 – 150

04. Sistematização de um terreno para irrigação por superfície: sistema de irrigação por sulcos retos e abertos em declive, projetado com declividades de 0,2% no sentido longitudinal e 0% no sentido transversal. O cálculo da sistematização será realizado pelo método do centróide.

4.1. Nivelamento geométrico: realiza-se inicialmente o piqueteamento na área em estudo, o qual deve ter de preferência, espaçamento regular. Nessa condição, os piquetes locados na periferia da área, devem ficar a uma distância do limite da área, correspondente à metade do espaçamento adotado. Na escolha do espaçamento entre piquetes, devem ser levadas em consideração o comprimento total das máquinas e respectivos implementos utilizados nas operações. O Quadro 01 mostra as cotas naturais do terreno, calculadas através de um nivelamento geométrico simples, na área DS.2 da Fazenda Experimental Vale do Curu, em Pentecoste–CE, cujos piquetes foram espaçados regularmente de 20,0m, conforme observa-se na Figura 02.

4.2. Coordenadas do centróide (X, Y): em áreas quadradas ou retangulares ele coincide com o cruzamento das diagonais. Em áreas triangulares, com o cruzamento das medianas. O centróide corresponde ao centro de gravidade ou o centro geométrico da área. Em áreas geométricas compostas, as coordenadas do centróide devem ser calculadas de acordo com as equações a seguir:

$$X = \frac{\sum_{j=1}^n (S_j \cdot N_j)}{\sum_{j=1}^n N_j}; Y = \frac{\sum_{i=1}^n (S_i \cdot N_i)}{\sum_{i=1}^n N_i}; \text{ sendo:}$$

S: distância em piquetes ao ponto de origem “O”, onde j : coluna e i : linha.

X e Y: distância em piquetes do centróide ao ponto de origem “O”.

N_j: número de piquetes na coluna j.

N_i: número de piquetes na linha i.

$$\begin{cases} X = 3,3846 \text{ piquetes} \\ Y = 3,7692 \text{ piquetes} \end{cases}$$

$$X = [(1 \times 7) + (2 \times 7) + (3 \times 7) + (4 \times 6) + (5 \times 6) + (6 \times 6)] / 39 \approx 3,4 \text{ piquetes de “O”};$$

$$Y = [(1 \times 6) + (2 \times 6) + (3 \times 6) + (4 \times 6) + (5 \times 6) + (6 \times 6) + (7 \times 3)] / 39 \approx 3,8 \text{ piquetes de “O”}.$$

Quadro 01. Nivelamento geométrico simples - ÁREA DS.2 (F.E.V.C.)

Estaca	Ré (m)	Alt. inst. (m)	Leit. vante (m)	Cotas (m)
1A	1,495	11,495		10,000
1B			1,505	9,990
1C			1,560	9,935
1D			1,550	9,945

1E			1,540	9,955
1F			1,490	10,005
2A			1,580	9,915
2B			1,580	9,915
2C			1,620	9,875
2D			1,580	9,915
2E			1,630	9,865
2F			1,605	9,890
3A			1,580	9,915
3B			1,645	9,850
3C			1,635	9,860
3D			1,655	9,840
3E			1,700	9,795
3F			1,690	9,805
4A			1,555	9,940
4B			1,560	9,935
4C			1,650	9,845
4D			1,605	9,890
4E			1,670	9,825
4F			1,595	9,900
5A			1,580	9,915
5B			1,620	9,875
5C			1,645	9,850
5D			1,590	9,905
5E			1,670	9,825
5F			1,600	9,895
6A			1,600	9,895
6B			1,585	9,910
6C			1,660	9,835
6D			1,615	9,880
6E			1,640	9,855
6F			1,600	9,895
7A			1,640	9,855
7B			1,620	9,875
7C			1,650	9,845
Tomada d'água			1,345	10,150

* Caso a área seja regular, tem-se:

$$X = \frac{\sum_{j=1}^n S_j}{n} \text{ e } Y = \frac{\sum_{i=1}^n S_i}{n}$$

4.3. Cota do centróide (Hc): refere-se à média ponderada das cotas do terreno, em que o fator de ponderação é a área de influência de cada estaca.

$$Hc = \left(\sum_{i=1}^n Ci \cdot Ai \right) / \sum_{i=1}^n Ai$$

- Para áreas de influência iguais, tem-se:

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^n Ai = N \cdot Ai \\ \sum_{i=1}^n Ci \cdot Ai = Ai \sum_{i=1}^n Ci \end{cases} ; \text{ sendo N o número de estacas.}$$

$$\text{Portanto: } Hc = \left(Ai \cdot \sum_{i=1}^n Ci \right) / N \cdot Ai \therefore Hc = \left(\sum_{i=1}^n Ci \right) / N$$

No exemplo ilustrativo, tem-se que $Hc = 9,89\text{m}$.

4.4. Cálculo das cotas projetadas:

$Hc = 9,89\text{m}$. Tomando-se por base a coordenada do centróide na direção Y (3,8 piquetes a partir de O), tem-se que a distância até a linha 4 será: $0,2 \text{ piquetes} \times 20,0\text{m} = 4,0\text{m}$.

Na direção Y, $\alpha = 0,2\%$, logo:

100m $\longrightarrow$ 0,2m $\therefore X = 0,008\text{m}$ e, portanto:

4m $\longrightarrow$ X $9,89\text{m}(Hc) - 0,008\text{m} = 9,882\text{m}$.

Na direção X, como $\alpha = 0\%$, tem-se sempre a mesma cota ao longo da linha.

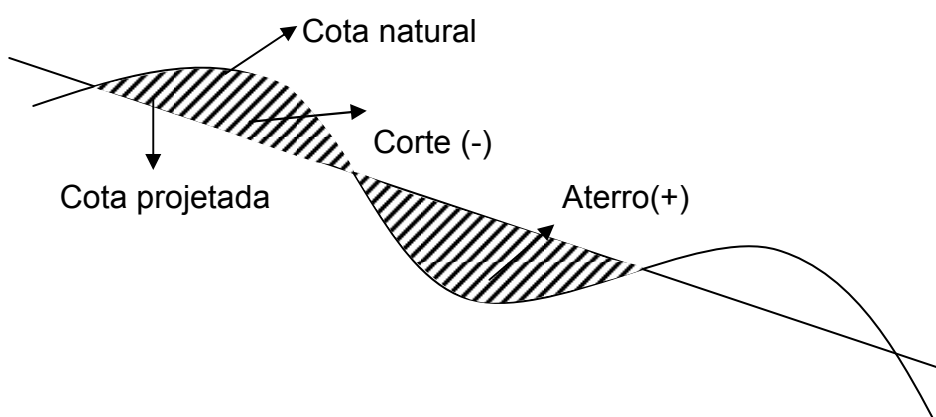
Já na direção Y, $\alpha = 0,2\%$, tem-se entre estacas: $100\text{m} \longrightarrow 0,2\text{m}$
 $20\text{m} \longrightarrow Z \therefore Z = 0,04\text{m}$

Os dados referentes às cotas projetadas são apresentados na Figura 02 (ver legenda – letra C).

4.5. Cálculo de cortes e aterros:

* Cota projetada – cota do terreno;

$\left\{ \begin{array}{l} \text{Se } (-) \therefore \text{ corte} \\ \text{Se } (+) \therefore \text{ aterro} \end{array} \right. \therefore \text{Convencional}$



Os dados referentes às estacas de cortes e/ou aterros são apresentados na Figura 02 (ver legenda, D) e no Quadro 02, correspondendo às alturas originais de cortes e aterros, em que $\Sigma \text{ corte} / \Sigma \text{ aterro} = 0,963$. A relação desejável varia de acordo com a textura do solo, sendo de 1,3 para solos de textura média. Os ajustamentos realizados nas estacas de cortes e aterros devem-se a razões principalmente construtivas, uma vez que sempre deve haver maior disponibilidade de corte do que de aterro, a qual se obtém rebaixando o plano sistematizado.

4.6. Correção nas alturas de cortes e aterros(R):
$$R = \frac{\sum C + N_c \cdot Z}{\sum A - N_a \cdot Z}$$

sendo:

R : relação corte/aterro desejável;

ΣC : somatório das alturas de corte;

ΣA : somatório das alturas de aterro;

N_c : número de estacas com corte;

N_a : número de estacas com aterro

Z : altura correspondente ao rebaixamento do plano sistematizado.

$$1,3 = \frac{111,7 + 19 \cdot Z}{116,0 - 20 \cdot Z} \therefore Z = 0,87\text{cm ou } Z \approx 0,9 \text{ cm.}$$

As alturas de cortes e aterros corrigidas são mostradas no Quadro 02.

Figura 02. Dados necessários à sistematização – Área DS₂ (F.E.V.C.)

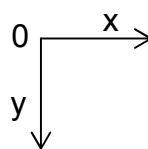
CANAL SECUNDÁRIO →											
A ← 20,0m → B		C		D		E		F			
10,000	1,495	9,990	1,505	9,935	1,560	9,945	1,550	9,955	1,540	10,005	1,490
10,002	0,002	10,002	0,012	10,002	0,067	10,002	0,057	10,002	0,047	10,002	-0,003

0,2% ↓	2	$\frac{9,915}{9,962} \cdot \frac{1,580}{0,047}$	$\frac{9,915}{9,962} \cdot \frac{1,580}{0,047}$	$\frac{9,875}{9,962} \cdot \frac{1,620}{0,087}$	$\frac{9,915}{9,962} \cdot \frac{1,580}{0,047}$	$\frac{9,865}{9,962} \cdot \frac{1,630}{0,097}$	$\frac{9,890}{9,962} \cdot \frac{1,605}{0,072}$
	3	$\frac{9,915}{9,922} \cdot \frac{1,580}{0,007}$	$\frac{9,850}{9,922} \cdot \frac{1,645}{0,072}$	$\frac{9,860}{9,922} \cdot \frac{1,635}{0,062}$	$\frac{9,840}{9,922} \cdot \frac{1,655}{0,082}$	$\frac{9,795}{9,922} \cdot \frac{1,700}{0,127}$	$\frac{9,805}{9,922} \cdot \frac{1,690}{0,117}$
	4	$\frac{9,940}{9,882} \cdot \frac{1,555}{-0,058}$	$\frac{9,935}{9,882} \cdot \frac{1,560}{-0,053}$	$\frac{9,845}{9,822} \cdot \frac{1,650}{0,037}$	$\frac{9,890}{9,882} \cdot \frac{1,605}{-0,008}$	$\frac{9,825}{9,882} \cdot \frac{1,670}{0,057}$	$\frac{9,900}{9,882} \cdot \frac{1,595}{-0,018}$
	5	$\frac{9,915}{9,842} \cdot \frac{1,580}{-0,073}$	$\frac{9,875}{9,842} \cdot \frac{1,620}{-0,033}$	$\frac{9,850}{9,842} \cdot \frac{1,645}{-0,008}$	$\frac{9,905}{9,842} \cdot \frac{1,590}{-0,063}$	$\frac{9,825}{9,842} \cdot \frac{1,670}{0,017}$	$\frac{9,895}{9,842} \cdot \frac{1,600}{-0,053}$
	6	$\frac{9,895}{9,802} \cdot \frac{1,600}{-0,093}$	$\frac{9,910}{9,802} \cdot \frac{1,585}{-0,108}$	$\frac{9,835}{9,802} \cdot \frac{1,660}{-0,033}$	$\frac{9,880}{9,802} \cdot \frac{1,615}{-0,078}$	$\frac{9,855}{9,802} \cdot \frac{1,640}{-0,053}$	$\frac{9,895}{9,802} \cdot \frac{1,600}{-0,093}$
	7	$\frac{9,855}{9,762} \cdot \frac{1,640}{-0,093}$	$\frac{9,875}{9,762} \cdot \frac{1,620}{-0,113}$	$\frac{9,845}{9,762} \cdot \frac{1,650}{-0,083}$			

DRENO COLETOR 0.0%

$$\frac{b}{c} \cdot \frac{a}{d}$$

a – leitura da mira;
b – cota do terreno;
c – cota calculada ou projetada;
d – corte (-) ou aterro (+).



COORDENADAS
DO CENTRÓIDE

X = 3,4 PIQUETES
A PARTIR DE 0.
Y = 3,8 PIQUETES
A PARTIR DE 0.

Quadro 02. Planilha de cortes e aterros

Estaca	Alturas originais (cm)		Alturas corrigidas (cm)	
	Corte	Aterro	Corte (+ 0,90)	Aterro (- 0,90)
1A	-	0,2	0,7	-
1B	-	1,2	-	0,3
1C	-	6,7	-	5,8
1D	-	5,7	-	4,8
1E	-	4,7	-	3,8
1F	0,3	-	1,2	-
2A	-	4,7	-	3,8
2B	-	4,7	-	3,8
2C	-	8,7	-	7,8
2D	-	4,7	-	3,8
2E	-	9,7	-	8,8
2F	-	7,2	-	6,3
3A	-	0,7	0,2	-
3B	-	7,2	-	6,3
3C	-	6,2	-	5,3
3D	-	8,2	-	7,3
3E	-	12,7	-	11,8
3F	-	11,7	-	10,8
4A	5,8	-	6,7	-
4B	5,3	-	6,2	-
4C	-	3,7	-	2,8
4D	0,8	-	1,7	-
4E	-	5,7	-	4,8
4F	1,8	-	2,7	-
5A	7,3	-	8,2	-
5B	3,3	-	4,2	-
5C	0,8	-	1,7	-
5D	6,3	-	7,2	-
5E	-	1,7	-	0,8
5F	5,3	-	6,2	-
6A	9,3	-	10,2	-
6B	10,8	-	11,7	-
6C	3,3	-	4,2	-
6D	7,8	-	8,7	-
6E	5,3	-	6,2	-
6F	9,3	-	10,2	-
7A	9,3	-	10,2	-
7B	11,3	-	12,2	-
7C	8,3	-	9,2	-
TOTAL	111,7	116,0	128,8	98,9

$$(\Sigma \text{ corte}) / (\Sigma \text{ aterro}) = 0,963$$

$$(\Sigma \text{ corte}) / (\Sigma \text{ aterro}) = 1,302$$

05. Cálculo do volume de terra:

5.1. Para áreas de influência das estacas iguais:

Volume de corte = $a \cdot \sum_{i=1}^n C_i$, sendo C_i : corte corrigido

Volume de aterro = $a \cdot \sum_{i=1}^n A_i$, sendo A_i : aterro corrigido e

a : área de influência de cada estaca.

5.2. Para áreas de influência das estacas diferentes:

Volume de corte = $\Sigma A_c \cdot \overline{h_c}$; sendo:

A_c : área de corte (planímetro)

$\overline{h_c}$: altura média de corte.

Volume de aterro = $\Sigma A_a \cdot \overline{h_a}$; sendo:

A_a : área de aterro (planímetro)

$\overline{h_a}$: altura média de aterro

$$\overline{h_c} = \left(\sum_{i=1}^n C_i \right) / n$$

$$\overline{h_a} = \left(\sum_{i=1}^n A_i \right) / n \quad ;; \text{ sendo } n: \text{ número de estacas.}$$

06. Demarcação e execução do projeto em campo

Um processo largamente utilizado, consiste na marcação com tinta vermelha das estacas de corte e de tinta azul das estacas de aterro. Deve haver uma equipe de topografia acompanhando a execução dos trabalhos, através de uma referência de nível externa à área trabalhada. Não há necessidade que as cotas calculadas apresentem aproximação maior que o centímetro, tendo em vista serem a precisão destas máquinas da ordem de 2 centímetros. As Figuras 03 e 04 mostram detalhes da execução de um trabalho de sistematização e a respectiva área sendo irrigada pelo sistema de sulcos abertos e retos em declive.



Figura 03. Sistematização de um terreno para irrigação.



Figura 04. Terreno sistematizado e irrigado por sulcos.