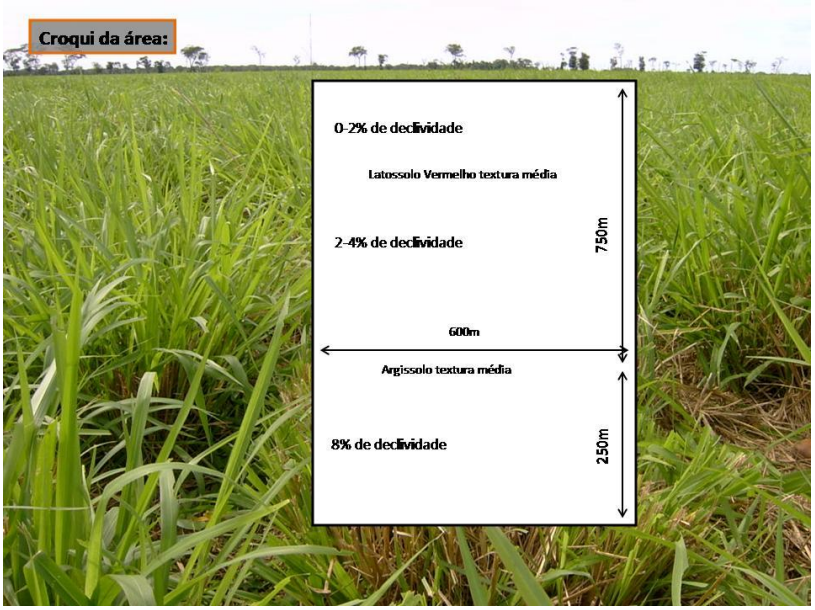
Manejo e Conservação do Solo - LSO 660

Aula Prática semana de 18 e 19 de agosto 2011

Objetivo: comparar projeto de TI com TD

Roteiro

Considere a área esquematizada na figura abaixo, localizada em Altair (SP):



1) Elabore um projeto de terraços de infiltração para a área utilizando os critérios abaixo:

a) Defina espaçamento, técnica construtiva, quantidade de terraços e custo de implantação

b) Pense em como poderia avaliar a interferência dos terraços na mecanização da área, e qual seria o resultado desta avaliação

2) Dimensione um sistema de terraços de drenagem para a área seguindo a descrição do artigo em anexo (Anexo 1) utilizando a planilha de dimensionamento (não é necessário fazer os cálculos em papel)

a) Siga o dimensionamento e a técnica construtiva sugerida no Anexo 1.

b) Pense num projeto alternativo no qual foi considerada uma margem de segurança maior e refaça o dimensionamento.

b) Prepare uma tabela resumida que permita comparara comparação dos três projetos.

Para os cálculos, considere as equações e dados apresentados no Anexo 2

Anexo 1

Dimensionamento hidrológico de terraços de drenagem e canais escoadouros

Gerd Sparovek, Alexandre Christófaro Silva

Referência:

SPAROVEK, Gerd; SILVA, Alexandre Chritofaro. Dimensionamento hidrológico de terraços de drenagem e canais escoadouros. Revista da Universidade de Alfenas, Alfenas, v. 3, p. 137-143, 1997.

Resumo

Apesar dos princípios hidrológicos de funcionamento de terraços de drenagem, terraços interceptores e canais escoadouros serem relativamente simples e bem conhecidos, ainda são freqüentes erros no seu dimensionamento. Foi apresentado um método de dimensionamento de sistemas de drenagem superficial que necessita de reduzido número de dados. Este método tem como apoio uma planilha de cálculo programada para executar todos os cálculos necessários. Através de um exemplo de aplicação foi demonstrado o método e o funcionamento da planilha.

Palavras chave: Dimensionamento hidrológico, terraços, canais escoadouros.

Hydrologic design of drainage channel terraces and artificial waterways

Summary

Although the hydrologic principles which define the operation of drainage channel terraces, storm water diversion drains and artificial waterways are relatively simple and well established, mistakes in its design are frequent. A design method for runoff drainage systems which need a small number of data was developed. This method has the aid of a spreadsheet programmed to carry out all needed calculations. An applied example illustrates the method and the operation of the spreadsheet.

Key words: Hydrologic design, channel terraces, waterways.

Introdução

O terraceamento em áreas agrícolas, principalmente no caso de culturas anuais e semi-perenes, é uma prática muito difundida na agricultura brasileira. Na região sudeste e sul do Brasil esta prática é muitas vezes considerada como um sinônimo de conservação do solo (Fernandes, 1988). Os princípios básicos de recomendação e a maneira de funcionamento dos terraços no controle da erosão em sulcos são relativamente bem conhecidos e foram descritos por Bertoni & Lombardi Neto (1985), Bertol & Cogo (1996). No entanto, ainda são freqüentes erros na aplicação desta prática, principalmente no seu dimensionamento correto.

Os terraços de infiltração, que são construídos em nível, não permitem um dimensionamento hidrológico muito preciso. A sua função é interceptar a enxurrada e promover a infiltração da água no canal do terraço. A taxa de infiltração de água no canal do terraço, que é o princípio de seu funcionamento, ainda é um assunto muito pouco conhecido. Outro fator importante é que esta taxa provavelmente seja muito variável e dependente do tipo de solo, da forma de construção do terraço, do preparo de solo, do grau de compactação do solo e da sua umidade. Em decorrência disto, o dimensionamento de terraços de infiltração com base em critérios hidrológicos, como proposto por Chaves (1996) ainda não consiste uma prática rotineira. O dimensionamento desta prática, na maioria dos casos, se baseia em princípios empíricos, consagrados pela sua eficiência prática, como a proposta de Cruciani (1988) que recomenda seu dimensionamento em função da enxurrada de uma chuva de 10 anos de tempo de recorrência de 24 horas de duração.

Os terraços de drenagem interceptam a enxurrada e ao invés de promover a sua infiltração no canal do terraço, conduzem-na para um sistema de escoamento que pode ser uma grota vegetada ou um canal escoadouro. Nos terraços de drenagem os princípios hidrológicos envolvidos no dimensionamento são melhor conhecidos e mais simples do que nos terraços de infiltração.

Este trabalho tem como objetivo apresentar os princípios envolvidos no dimensionamento de terraços de drenagem e canais escoadouros e, através de um exemplo prático, demonstrar o funcionamento de uma planilha de cálculo programada resolver as principais etapas de cálculo envolvidas.

Princípios de dimensionamento

A primeira etapa no dimensionamento de terraços de drenagem é a definição de seu espaçamento. Os critérios para esta definição devem considerar características do solo como a susceptibilidade à erosão em sulcos e capacidade de infiltração de água no solo,

aspectos do relevo como declividade e comprimento das vertentes, o sistema de produção como o tipo de cultura, manejo dos restos de cultura e preparo do solo. Critérios para a definição do espaçamento de terraços foram desenvolvidos por Bertoni (1978) e Lombardi Neto et. al., (1989). De qualquer forma, a definição do espaçamento entre os terraços deve ser feita por um método que a experiência local indique como sendo eficiente. Uma vez definido o espaçamento entre os terraços, será necessário calcular as suas dimensões.

Os terraços de drenagem e canais escoadouros são estruturas hidrológicas relativamente simples na forma de canais abertos. Pelo fato de serem estruturas simples, de vazão e risco de falha relativamente baixos, não há necessidade de muita sofisticação para o seu dimensionamento. Neste caso, o emprego de conceitos e fórmulas simples é vantajoso pelo fato de ser necessário menor número de dados para a sua aplicação. Isto é importante no caso de terraços e canais escoadouros, uma vez que na maior parte das situações em que sua construção é feita dificilmente estarão disponíveis mais informações do que o tipo de solo, a cultura a ser implantada e a declividade do terreno. Dentro deste contexto, procurou-se desenvolver métodos pelos quais o dimensionamento de terraços e canais escoadouros pudesse ser feito, minimizando a necessidade de dados como a definição de hidrogramas (Tucci, 1993) ou do número-curva (Chaves, 1996) necessários para aplicações mais complexas envolvendo escoamento superficial nos quais maior precisão é necessária.

Os métodos sugeridos consistem do cálculo da **Vazão de Entrada** decorrente da enxurrada e da **Vazão de Saída** definida pelas características do sistema de drenagem superficial da área, composto de terraços de drenagem, terraços interceptores, canais escoadouros ou drenos tubulares. No dimensionamento a **Vazão de Entrada** e a **Vazão de Saída** são calculados e devem ter o mesmo valor.

Para o cálculo da **Vazão de Entrada,** que consiste no cálculo da maior vazão esperada da enxurrada, é aplicado o método racional (Ramser, 1927) indicado por Bertoni & Lombardi Neto (1985) como sendo o método mais utilizado para esta finalidade em dimensionamento de terraços. Este método se baseia na aplicação da seguinte fórmula:

$$Q_{max} = \frac{C \times i \times A}{360}$$ onde:

$\mathbf{Q_{max}}$ = vazão máxima esperada, $m^3\ s^{-1}$
C = coeficiente de enxurrada.
i = intensidade ($mm\ h^{-1}$) da precipitação máxima esperada com certo período de retorno e de duração igual ao tempo de concentração da área.
A = área de captação no ponto de dimensionamento, ha

Para o cálculo da precipitação máxima esperada optou-se pela equação proposta por Pfafstetter (1957) pelo fato de ser um método aplicável em todo o Brasil e não necessitar de outras informações além do local e do tempo de recorrência da precipitação. A equação que estima o volume da precipitação máxima é apresentada a seguir:

$$P = \left\{ T^{\left(\alpha + \frac{\beta}{T^{0,25}}\right)} \right\} \times \left\{ a \times t + b \times \log(1 + c \times t) \right\}$$ onde:

P = Precipitação máxima, mm
T = tempo de recorrência, anos
t = tempo de duração da chuva, h
α = constante que depende da duração precipitação
ß = constante que depende da duração da e da localidade
a, b, e ***c*** = constantes que dependem da localidade

A **Vazão de Saída** é calculada pela multiplicação do valor da seção pela velocidade de escoamento. A velocidade de escoamento é estimada pela fórmula de Manning, apresentada a seguir:

$$\mathbf{V} = \frac{1}{n} \times R^{\frac{2}{3}} \times \sqrt{i}$$ onde:

V = velocidade da água num canal aberto, $m\ s^{-1}$
n = coeficiente de rugosidade
R = raio hidráulico (área molhada / perímetro molhado), m
i = declividade do canal, $m\ m^{-1}$

A maior restrição para a aplicação desta equação na estimativa da velocidade de escoamento é a grande variação, de até 20%, dos valores de coeficiente de rugosidade (Linsley et al. 1988). No entanto a simplicidade e a pouca necessidade de informações para a estimativa por esta fórmula foram considerados como vantagens sobre métodos mais precisos.

Foi elaborada uma planilha de cálculo programada para resolver as equações acima apresentadas de diversas formas, procurando abranger todas as etapas de cálculo normalmente envolvidas no dimensionamento de terraços de drenagem, terraços interceptores, canais escoadouros e drenos circulares. Esta planilha calcula precipitações máximas, a vazão de terraços de drenagem e canais escoadouros, a relação entre a largura e a vazão de canais escoadouros além da vazão de drenos tubulares (manilhas). A seguir apresentamos um exemplo de aplicação da planilha de cálculo para o dimensionamento de um terraço interceptor e um canal escoadouro. Os cálculos foram apresentados passo a passo o que permite a aplicação dos conceitos em outras situações.

Exemplo de aplicação

Como exemplo de aplicação das fórmulas sugeridas e visando demonstrar o uso da planilha de cálculo consideramos a área da Figura 1 que está esquematicamente representada na Figura 2.

Esta área é localizada no Município de Altair na região norte do Estado de São Paulo e foi cultivada pela Usina Guarani SA. A implantação das práticas conservacionistas ocorreu no ano agrícola de 1995/96 sem a ocorrência de sulcos de erosão nas áreas de cultivo, terraços ou canal escoadouro. Nesta área anteriormente ocupada com pastagens, optou-se pela implantação de cana-de-açúcar. No topo de declividade de 4% esta implantação foi feita em faixas sem terraceamento. A partir do terço final da encosta, devido ao aumento da declividade de 4 para 8% foi construído um terraço interceptor, visando a condução da enxurrada formada nas áreas cultivadas em faixas para um canal escoadouro central. Abaixo do terraço interceptor foram construídos terraços de drenagem com um espaçamento horizontal de cerca de 80m. A seguir apresentamos o dimensionamento do terraço interceptor na sua confluência com o canal escoadouro (ponto **A** da Figura 2 e Figura 3) e do canal escoadouro na sua parte final próximo ao seu deságüe numa represa (ponto **B** da Figura 2). As telas da planilha de cálculo também foram apresentadas, demonstrando a sua aplicação. A definição dos espaçamentos e localização dos terraços e canal escoadouro foi feita seguindo critérios locais.

Para a definição da precipitação associada a vazão máxima calculou-se inicialmente o tempo de concentração nos pontos **A** e **B**. A velocidade de escoamento superficial disperso na área cultivada em faixas, seguindo critérios sugeridos por Cruciani (1988) apresentados no Quadro 1, foi calculada em 0,54 m s^{-1}. A velocidade máxima de escoamento no terraço interceptor, cultivado normalmente ficando coberto apenas parte do ano, foi considerada 0,8 m s^{-1} e a velocidade máxima de escoamento do canal escoadouro, que foi vegetado permanentemente com gramíneas foi considerada 1,2 m s^{-1}. Assim, o Tempo de Concentração (TC) para os pontos **A** e **B** foram calculados como demonstrado a seguir:

$$\frac{750}{0{,}54}+\frac{300}{0{,}8}=1.764s \quad (\text{TC no ponto A}) \qquad \text{Equivalente a } 29{,}4'$$

e

$$\frac{750}{0{,}54}+\frac{300}{0{,}8}+\frac{250}{1{,}2}=1.972s \quad (\text{TC no ponto B}) \qquad \text{Equivalente a } 32{,}8'$$

Para o cálculo da precipitação máxima utilizou-se a planilha **Chuva**, na qual preencheu-se os campos **Número do Local = 31** (média do Estado de São Paulo uma vez que não há dados próximos ao Município de Altair) e a **Duração da Precipitação de 29,4'** e **32,8'** para o ponto **A** e **B** respectivamente utilizando um **Tempo de Recorrência** de **15 anos**. Na Tela 1 apresentamos o cálculo da precipitação para o ponto **A**. A intensidade de precipitação resultante foi de 99 mm h^{-1} para o ponto **A** e 97 mm h^{-1} para o ponto **B**.

Para o cálculo da vazão de entrada foi utilizada a planilha **Vazão Entrada** baseada na fórmula racional. O coeficiente de enxurrada foi obtido do Quadro 2, adaptado de Cruciani (1988). Na parte superior da vertente ocorre um latossolo vermelho-escuro de textura média, portanto um solo de alta permeabilidade, resultando num coeficiente de enxurrada de 0,3. Abaixo do terraço interceptor predomina um podzólico vermelho-amarelo de textura média, considerado um solo de permeabilidade média, resultando num coeficiente de enxurrada para culturas de 0,6. Assim, para o ponto **B** o coeficiente de enxurrada médio foi calculado conforme indicado abaixo:

$$\frac{0{,}3 \times 45ha + 0{,}6 \times 15ha}{45ha + 15ha} = 0{,}38$$

Completando estes dados na planilha **Vazão de Entrada** resultou uma vazão máxima esperada no ponto **A** de 1,86 m^3s^{-1} e no ponto **B** de 6,14 m^3s^{-1} conforme indicado na Tela 2.

Para o dimensionamento do terraço interceptor foi considerada a velocidade máxima de escoamento definida para o cálculo do tempo de concentração (0,8 m s^{-1}) e uma seção triangular sem aterro (terraço embutido) com um corte no terreno de 4 m. Seções triangulares com corte de aproximadamente 4 m e uma altura de aterro em torno de 1,5 m podem ser alcançadas com equipamentos convencionalmente utilizados para a construção de terraços como grades terraceadoras e motoniveladoras. No caso de terraços de drenagem, principalmente interceptores, a operação mais prática é ajustar a declividade a um determinado formato do terraço que seja executável com os equipamentos disponíveis para a sua construção. Considerando uma seção triangular, um corte de 4 m e uma velocidade de 0,8 m s^{-1} a altura do aterro será de 1,16 m, resultando conforme a Tela 3, numa declividade do canal do terraço de 0,67% para igualar a **Vazão de Entrada** de 1,86 m^3s^{-1}. A altura construída foi um pouco maior visando compensar imprecisões de locação e construção, ficando definida em 1,5 m.

Para o dimensionamento do canal escoadouro foi utilizada a planilha **Vazão Canal** na rotina de **Estimativa a Partir da Vazão e Velocidade**. Os valores de largura (l) e altura de escoamento (h) calculados foram de 25,58 e 0,20 m respectivamente conforme demonstrado na Tela 4. A largura construída foi de 25 m com um formato triangular considerando um desnível entre o centro do canal e as laterais de 0,2 m. O canal foi vegetado com gramíneas (grama estrela) o que levou a escolha de um coeficiente de rugosidade um pouco maior do que no terraço de drenagem. Seguindo os passos demonstrados acima é possível dimensionar os terraços de drenagem abaixo o terraço interceptor ou o canal escoadouro e terraço interceptor em outros pontos se desejado.

Conclusões

- Os métodos sugeridos permitiram o dimensionamento de sistemas de escoamento superficial simples de forma rápida e com um número pequeno de dados.
- A menor precisão, se comparados a métodos mais sofisticados, foi compensada pela facilidade de aplicação e não comprometeu o funcionamento satisfatório dos sistemas dimensionados.
- A planilha facilitou e reduziu significativamente o tempo necessário para a aplicação das fórmulas.

Referências

Bertol, I.; Cogo, N.P. Terraceamento em sistemas de preparo conservacionista do solo: um novo conceito. Bol. Téc. N° 1. Núcleo Regional Sul da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 41 pág., 1996.

Bertoni, J. Espaçamento de terraços para os solos do Estado de São Paulo. Campinas, Instituto Agronômico, 1978. 4p.

Bertoni, J. Lombardi Neto, F. Conservação do solo. Livroceres, 368 pág. 1985.

Chaves, H.M.L. Novo enfoque para o dimensionamento da área de seção transversal de terraços de retenção. R. bras. Ci. Solo, Campinas, 20:141-150, 1996.

Cruciani, D.E. Dimensionamento de sistemas de drenagem superficial e terraços com base nas características hidrológicas locais. In. Lombardi Neto & Belinazzi Jr. eds. Simpósio sobre terraceamento agrícola. Campinas, Fundação Cargill, 1989. pág. 26-59, 1988.

Fernandes, M. R. Terraceamento na região sudeste: observações gerais e básicas. IN Simpósio sobre terraceamento agrícola, Fundação Cargill. Pág. 18-22, 1988.

Linsley, Jr. R.K.; Kohler, M.A.; Paulhus, J.L.H. Hydrology for engineers. McGraw-Hill, London, 492 pág. 1988.

Lombardi Neto, F. Bellinazzi, Jr., R.; Galetti, P.A.; Bertolini, D.; Lepsch, I.F.; Oliveira, J.B. Nova abordagem para cálculo de espaçamento entre terraços. In: Lombardi Neto & Belinazzi Jr. eds. Simpósio sobre terraceamento agrícola. Campinas, Fundação Cargill, 1989. p. 99-123.

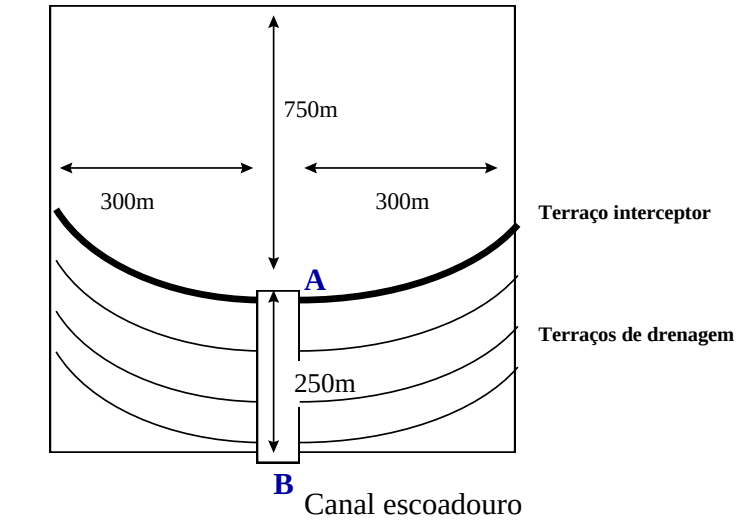
Pfapfstetter, O. Chuvas intensas no Brasil. Departamento Nacional de Obras de Saneamento, 420 pág., 1957.

Ramser, C.E. Runoff from small agricultural areas. J. agric. Res. Washington, 34(9):797-823, 1927.

Tucci, C.E.M. Escoamento superficial. IN Hidrologia: ciência e aplicação, Tucci C.E.M. (Org) Edusp, pág. 391-441, 1993.

Figura 1: Fotografia aérea da área utilizada no exemplo de dimensionamento.

Figura 2: Representação esquemática da área utilizada no exemplo de dimensionamento.



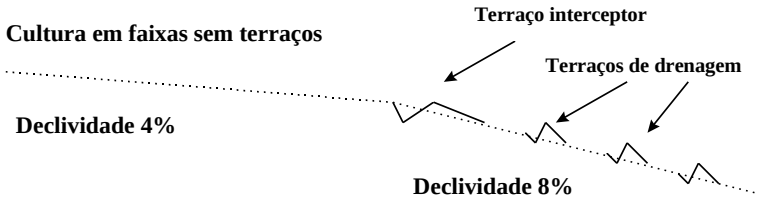
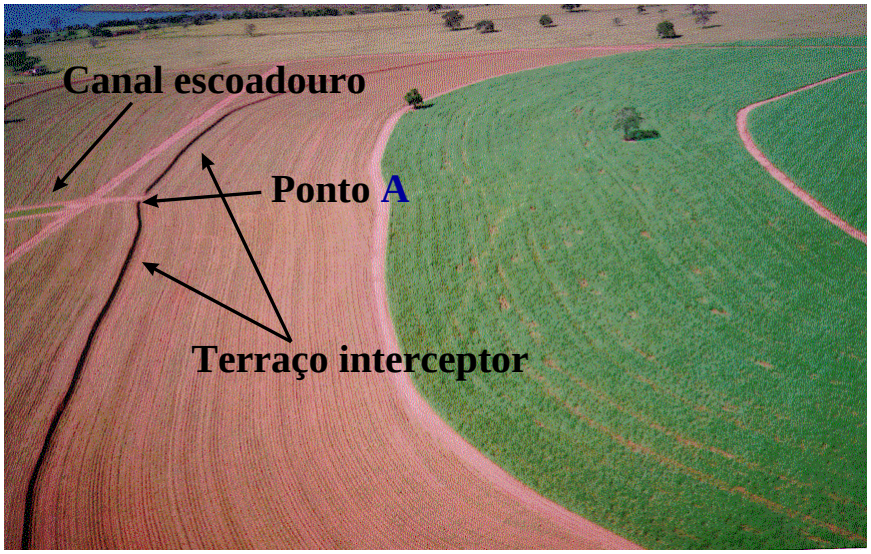


Figura 3: Detalhe da localização do Ponto A, confluência do terraço interceptor com o canal escoadouro.



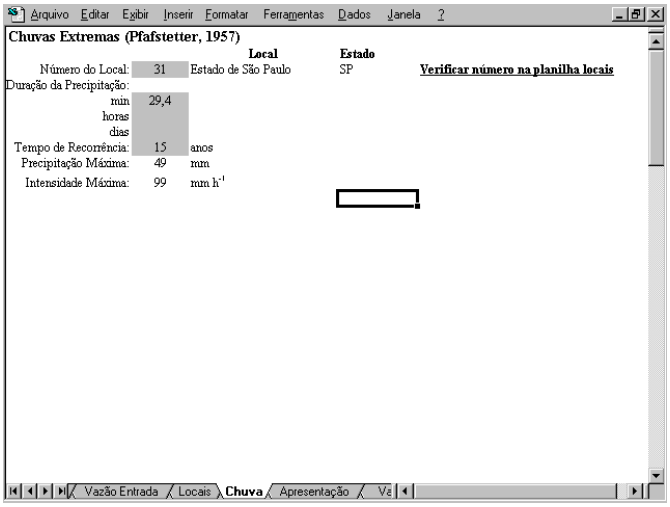
Velocidade (V, m s-1) de escoamento da enxurrada dispersa (não concentrada em canal) em função da declividade (D, %)

Uso da terra	Velocidade, m s-1
Florestas ou mata natural	$V=0{,}08\sqrt[2]{D}$
Área reflorestada ou em cultivo mínimo	$V=0{,}15\sqrt[2]{D}$
Pastagens	$V=0{,}21\sqrt[2]{D}$
Áreas cultivadas	$V=0{,}27\sqrt[2]{D}$
Solo descoberto	$V=0{,}30\sqrt[2]{D}$
Talvegues ou canais naturais vegetados	$V=0{,}45\sqrt[2]{D}$
Áreas pavimentadas	$V=0{,}60\sqrt[2]{D}$

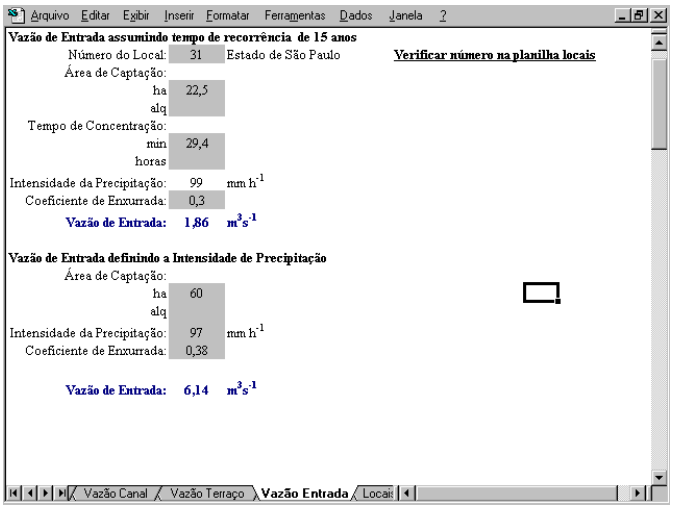
Coeficiente de enxurrada em função da cobertura vegetal, permeabilidade do solo e declividade.

Cobertura vegetal e declividade	Permeabilidade do Solo		
	Alta	Média	Baixa
Matas			
0-5%	0,10	0,30	0,40
5-10%	0,25	0,35	0,50
10-30%	0,30	0,50	0,60
Pastagens			
0-5%	0,10	0,30	0,40
5-10%	0,16	0,36	0,55
10-30%	0,22	0,42	0,60
Culturas			
0-5%	0,30	0,50	0,60
5-10%	0,40	0,60	0,70
10-30%	0,52	0,72	0,82
Áreas Urbanas			
0-5%	0,40	0,55	0,65
5-10%	0,50	0,65	0,80

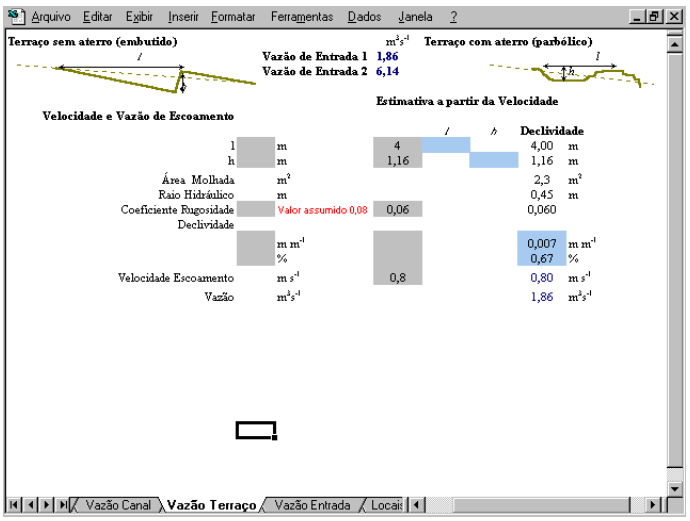
Tela 1: Cálculo do precipitação associada à vazão máxima no Ponto A



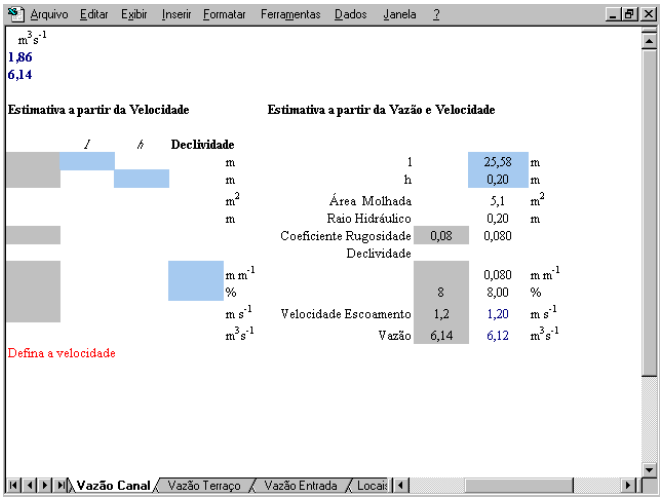
Tela 2: Estimativa da vazão de entrada nos pontos A e B



Tela 3: Dimensionamento do terraço interceptor no ponto A



Tela 4: Dimensionamento do canal escoadouro no ponto B



Custo e rendimento de construção em função do tipo de terraço e seção

	Seção	Rendimento	Custo		
	L m^{-1}	*m h^{-1}*	*R$ h^{-1}*	*R$ m^{-1}*	*R$ m^{-3}*
Com aterro feito com terraceador	900	390	35	0,09	0,10
Com aterro feito com terraceador e acabamento de canal com motoniveladora	2.500	200	60	0,30	0,12
Embutido feito com terraceador e motoniveladora	1.500	220	75	0,34	0,23
Embutido feito com motoniveladora	1.200	150	75	0,50	0,42
Embutido feito com terraceador e esteira	2.500	50	65	1,30	0,52
Embutido feito com esteira	3.500	30	55	1,83	0,52

Data de referência 2004