

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO



ALEXSON CAETANO DA SILVA

ESTUDO DE TRANSIÇÕES EM CANAIS

RECIFE

2014

ALEXSON CAETANO DA SILVA

ESTUDO DE TRANSIÇÕES EM CANAIS

Projeto de pesquisa apresentado como requisito para aprovação na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II na Universidade Federal de Pernambuco

Orientador: José Roberto Gonçalves de Azevedo

Recife

2014

Catalogação na fonte

Biblioteca Margareth Malta, CRB-4 / 1198

S586e Silva, Alexson Caetano da.
Estudo de transições em canais / Alexson Caetano da Silva. -
Recife: O Autor, 2014.
45 folhas, il., gráfs., tabs.

Orientador: Prof. Dr. José Roberto Gonçalves de Azevedo.
TCC (Graduação) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG.
Departamento de Engenharia Civil, 2014.
Inclui Referências.

1. Engenharia Civil. 2. Canais. 3. Transições horizontais. 4.
Transições verticais. 5. Perda de carga. I. Azevedo, José Roberto
Gonçalves de. (Orientador). III. Título.

UFPE

624 CDD (22. ed.)

BCTG/2014-181

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	5
2	OBJETIVO	7
3	REVISÃO DA LITERATURA	8
3.1	TRANSIÇÕES VERTICAIS	14
3.2	TRANSIÇÕES HORIZONTAIS	15
4	METODOLOGIA.....	17
5	RESULTADOS	20
6	CONCLUSÃO.....	45
7	REFERÊNCIAS	46

1 INTRODUÇÃO

Sabe-se da grande dificuldade do dimensionamento e operação de canais em sistemas de drenagem urbana eficientes no nosso país, além disso, atualmente há grandes obras de sistemas de canais em execução, como a transposição do rio São Francisco. Assim esse trabalho de conclusão de curso tem como objetivo estudar as diversas transições que podem ocorrer em canais. Devido à dificuldade de dimensionar estas seções dos canais, este estudo virá a acrescentar nos dimensionamentos futuros de canais.

As transições são mudanças na seção transversal de um canal aberto numa distância curta. Em um canal, a transição é o estreitamento ou o alargamento da seção ou a existência de uma depressão ou elevação na base do canal. Estas transições podem ainda ocorrerem de forma simultânea, o que dificulta ainda mais o traçado da linha de água.

Outra informação muito importante será saber se o regime de escoamento a montante da transição é supercrítico ou subcrítico, pois os cálculos na transição são diferentes dependendo do tipo de regime.

Assim esse trabalho vem a contribuir com a engenharia hidráulica e a sociedade, acrescentando mais praticidade às diversas situações de cálculo em transições de canais.

Um bom sistema de canais é essencial para a dinâmica de uma cidade, particularmente em sistemas de drenagem.

O desenvolvimento urbano brasileiro, segundo Tucci, Roberto e Barros (1995), tem produzido um impacto significativo na infraestrutura de recursos hídricos. Um dos principais impactos tem ocorrido na drenagem urbana, na forma de aumento da frequência e magnitude das inundações e deterioração ambiental.

O município e, conseqüentemente, o estado devem proporcionar a população de um sistema de drenagem eficiente. Devem fornecer a infraestrutura e realizar sua manutenção, bem como gerenciar e regular o sistema.

Além dos problemas com os sistemas de drenagem, existem as grandes obras hídricas no nosso país, como a transposição do Rio São Francisco, onde é necessário o emprego de conceitos bem fundamentados sobre aquedutos, canais e todos os elementos que o compõem. Evitando problemas futuros nesses sistemas que irão transpor águas de um dos mais importantes rios do Brasil.

Além disso, há aplicações de condutos livres em diversas situações como: saneamento, navegação, condução e tratamento de esgoto, hidroeletricidade, recuperação ambiental, diagnósticos, estudos de impactos ambientais entre outras.

Esta pesquisa se justifica pelo fato da necessidade de sistemas hidráulicos bem calculados em todas as suas etapas e atendendo as necessidades atuais da sociedade.

2 OBJETIVO

O objetivo deste estudo foi a elaboração de um pacote de planilhas eletrônicas (feitas em Excel) que pudessem calcular concomitantemente: estreitamentos, alargamentos, declives e acives em seção de canais retangulares e trapezoidais.

3 REVISÃO DA LITERATURA

O escoamento em canais, segundo o Módulo 1 do Plano de Desenvolvimento de Competências da Prefeitura de Curitiba (Cláudio Marchand Krüger e Maurício Dziedzic), é aquele que ocorre com superfície livre, em contato com a atmosfera, e é impulsionado pela força da gravidade.

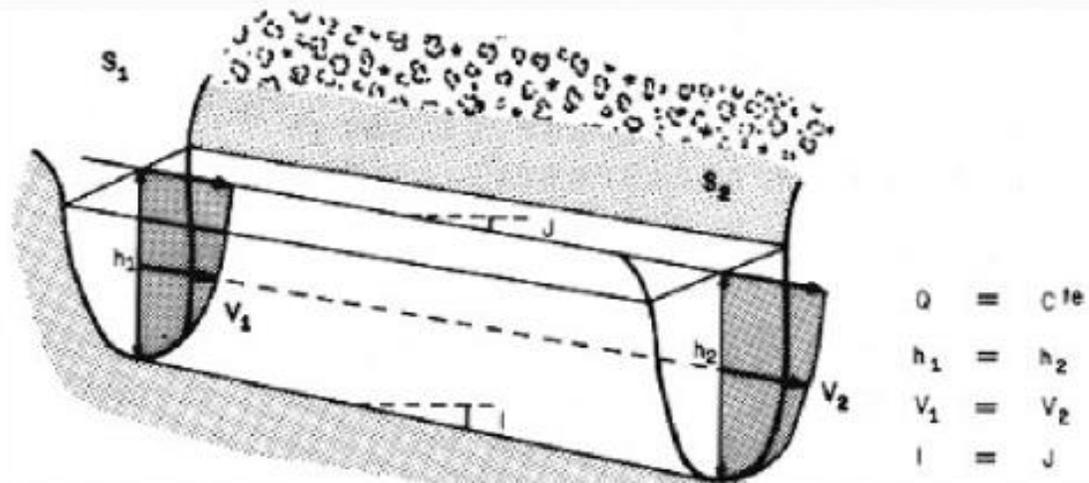
Esses condutos têm como principais características:

- a) Apresentar superfície livre onde reina a pressão atmosférica;
- b) Os problemas apresentados pelos canais são mais difíceis de serem resolvidos, visto que a superfície pode variar no tempo e no espaço. Assim, a profundidade do escoamento, a vazão, a declividade do fundo e a do espelho são grandezas independentes;
- c) A seção dos condutos pode assumir qualquer forma.

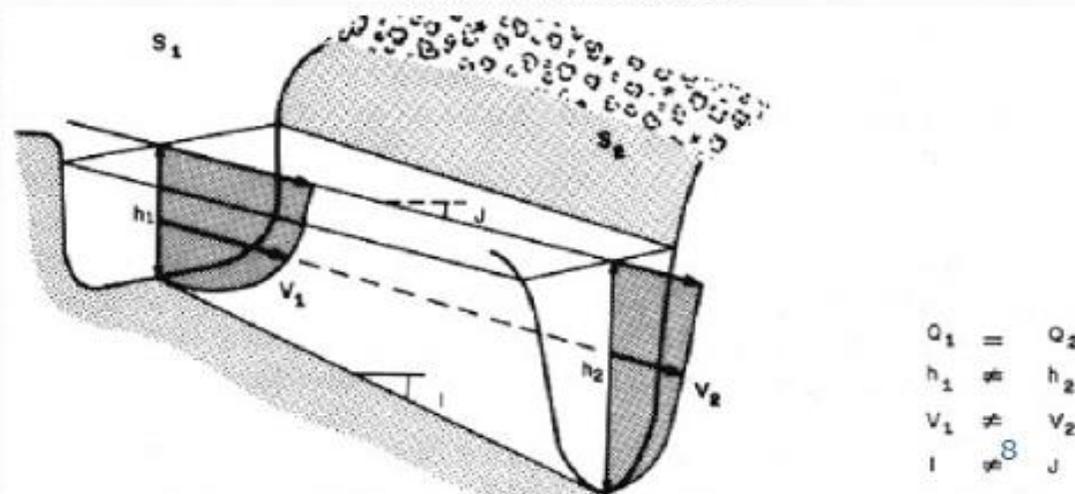
O escoamento em canais pode ser classificado como permanente, quando numa dada seção não ocorrem variações de suas propriedades no tempo, ou não permanente e transitório. No escoamento não permanente, a profundidade em uma dada seção varia ao longo do tempo, como no enchimento e esvaziamento de eclusas. Já o escoamento permanente pode ser subdividido em uniforme (velocidade constante ao longo do escoamento) e variado.

Figura 1 – Exemplificação do escoamento permanente.

Escoamento permanente e uniforme



Escoamento permanente e variado



Fonte: PAIVA (2012).

Segundo Chow (1959), a energia específica (equação 1) é a energia mediada do fundo do canal para uma dada vazão:

$$E = y + \frac{V^2}{2g} \quad (1)$$

Onde:

V = velocidade

g = aceleração da gravidade

y = altura da lamina d'água.

Como $V = Q/A$, temos:

A energia específica (equação 2) é a soma de duas energias: a energia estática (equação 3) e a cinética (equação 4):

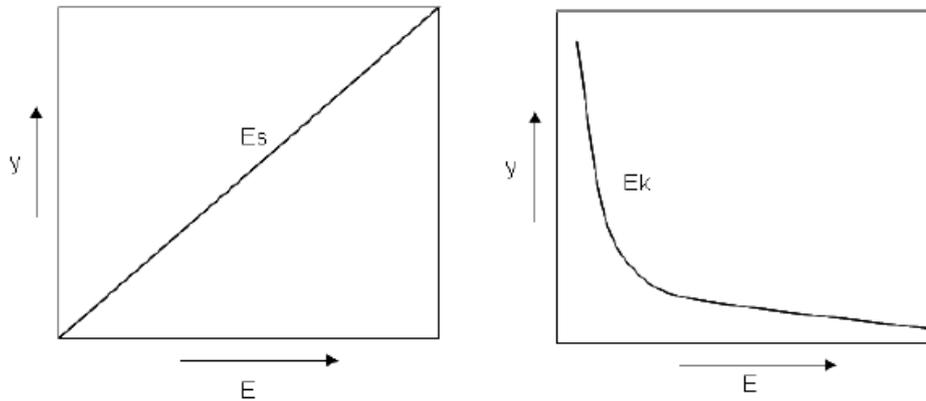
$$E = y + \frac{Q^2}{2gA^2} \quad (2)$$

$$E_s = y \quad (\text{Energia piezométrica}) \quad (3)$$

$$E_k = \frac{Q^2}{2gA^2} \quad (\text{Energia cinética}) \quad (4)$$

Plotando os gráficos de y em função de cada energia temos:

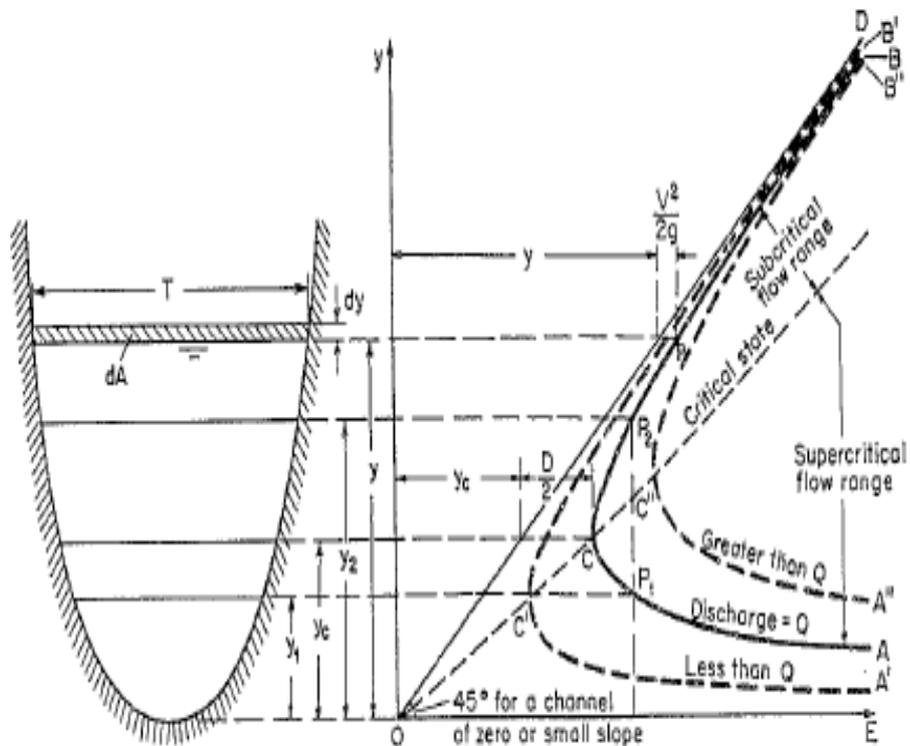
Figura 2 - (Gráficos da energia piezométrica (E_s) e da energia cinética (E_k) em função da altura da lâmina d'água).



Fonte: Chow.(1959).

A soma dessas duas parcelas de energia é a energia específica, essa energia pode ser representada graficamente através do gráfico mostrado por Chow (1959):

Figura 3 - Representação gráfica da energia específica em função da altura da lâmina d'água para certa vazão Q .



Fonte: Chow (1959).

Com isso para uma dada vazão Q poderemos ter 3 situações em termos de regime:

- Escoamento crítico
- Escoamento supercrítico
- Escoamento subcrítico

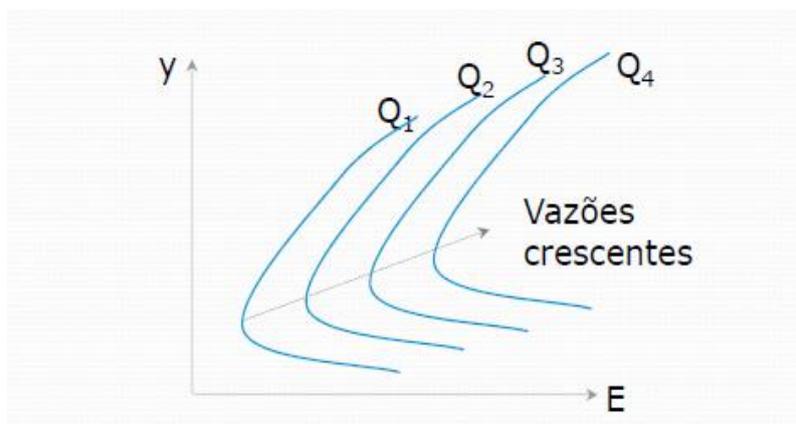
Como a vazão é a mesma, o determinante do regime de escoamento será a declividade do fundo do canal. Portanto, para uma vazão constante escoando em canal prismático com profundidade superior a crítica, teremos escoamento subcrítico. Ao aumentarmos a declividade do fundo do canal observa-se um aumento da velocidade do escoamento. De acordo com a equação da continuidade, a esse aumento da velocidade corresponderá uma redução na profundidade do escoamento, podendo chegar a um ponto em que a profundidade atinge o seu valor crítico. A declividade crítica é aquela que corresponde à profundidade crítica.

Declividades superiores à crítica correspondem a escoamentos supercríticos, pois levam a profundidades de escoamento inferiores à crítica.

Declividades inferiores à crítica correspondem a escoamentos Subcríticos, pois levam a profundidades de escoamento superiores à crítica.

Para cada valor de vazão no canal teremos uma curva de energia específica, quanto maior a vazão de escoamento mais afastada será a curva da origem do plano cartesiano.

Figura 4 – Conjunto de curvas de energia específica correspondente a cada vazão.



Fonte: PAIVA, E. C. R. Conduitos Livres ou Canais. Universidade Federal de Goiás. Nota de Aula, 2012.

Assim um dado canal poderá funcionar em escoamento crítico, supercrítico ou subcrítico, dependendo da vazão escoada.

Podemos então definir o número de Froude como a razão entre as forças inerciais e gravitacionais que atuam no escoamento. Ele serve para caracterizar o escoamento. Caso haja uma preponderância das forças gravitacionais o $Fr < 1$ e o regime é subcrítico. Caso haja preponderância das forças inerciais, tem-se o numerador maior do que o denominador, assim $Fr > 1$ e o regime é supercrítico.

A energia total de um canal (equação 5) pode ser expressa como:

$$H = Z + y + \alpha \frac{U^2}{2g} \quad (5)$$

Onde:

Z = cota do fundo do canal em relação há um datum;

Y = altura da lamina d'água;

U = velocidade do escoamento;

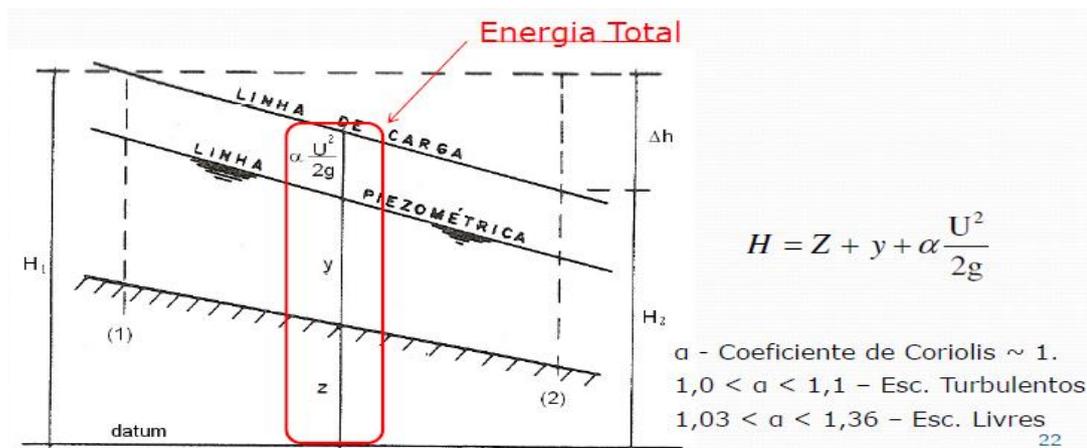
g = aceleração da gravidade;

α = coeficiente de Coriolis;

H = energia total.

Essa energia é a soma de três parcelas: cinética, altimétrica e piezométrica.

Figura 5 – Apresentação esquemática da energia total em um canal.



Fonte: PAIVA (2012).

3.1 TRANSIÇÕES VERTICAIS

Segundo Tomaz (2010), o escoamento em transição são mudanças na seção transversal de um canal aberto numa distancia curta.

As transições verticais são aclives ou declives do fundo do canal.

A partir da Equação de Bernoulli (equação 6), e assumindo ausência de perda de carga, canais retangulares largos e que a transição se dá gradualmente, tem-se (equações 7, 8 e 9):

$$H = z + y + \frac{U^2}{2g} = z + y + \frac{q^2}{2gy^2} = z + E \quad (6)$$

$$\frac{dH}{dx} = \frac{dz}{dx} + \frac{dE}{dx} = \frac{dz}{dx} + \frac{dE}{dy} \frac{dy}{dx} = 0 \quad (7)$$

$$\text{Como: } \frac{dE}{dy} = (1 - F_r^2) \quad (8)$$

$$\text{Então: } \frac{dz}{dx} + \frac{dy}{dx} (1 - F_r^2) = 0 \quad (9)$$

As transições verticais em canais são divididas em:

a) Elevação do fundo do canal:

$$\frac{dz}{dx} > 0 \rightarrow (1 - F_r^2) \frac{dy}{dx} < 0$$

- $Fr < 1 \rightarrow dy/dx < 0 \rightarrow$ profundidade de escoamento diminui
- $Fr > 1 \rightarrow dy/dx > 0 \rightarrow$ profundidade de escoamento aumenta

b) Rebaixamento do fundo do canal:

$$\frac{dz}{dx} < 0 \rightarrow (1 - F_r^2) \frac{dy}{dx} > 0$$

- $Fr < 1 \rightarrow dy/dx < 0 \rightarrow$ profundidade de escoamento aumenta
- $Fr > 1 \rightarrow dy/dx > 0 \rightarrow$ profundidade de escoamento diminui.

3.2 TRANSIÇÕES HORIZONTAIS

A largura da seção do canal é variável.

Tem-se que com Q (vazão) constante e B (largura) variável, substituindo a largura efetiva ($q=Q/B$) na equação de Bernoulli (equação 6) e diferenciando em relação a x tem-se (equações 10, 11 e 12):

$$\frac{dH}{dx} = \frac{dz}{dx} + \frac{dy}{dx} + \frac{d\left(\frac{q^2}{2gy^2}\right)}{dx} \quad (10)$$

$$\frac{dH}{dx} = \frac{dz}{dx} + \frac{dy}{dx} - \frac{q^2}{gy^3} \frac{dy}{dx} + \frac{q}{gy^2} \frac{dq}{dx} = 0 \quad (11)$$

$$\frac{dH}{dx} = 0 + \frac{dy}{dx} (1 - F_r^2) + \frac{q}{gy^2} \frac{dq}{dx} = 0 \quad (12)$$

Como Q (vazão) é constante, o produto largura efetiva por largura do canal ($q.B$) é constante tem-se (equações 13 a 16):

$$\frac{dQ}{dx} = B \frac{dq}{dx} + q \frac{dB}{dx} = 0 \rightarrow \frac{dq}{dx} = - \frac{q}{B} \frac{dB}{dx} \quad (13)$$

$$\frac{dy}{dx} (1 - F_r^2) + \frac{q}{gy^2} \left(- \frac{q}{B} \frac{dB}{dx} \right) = 0 \quad (14)$$

$$\frac{dy}{dx} (1 - F_r^2) - \frac{q^2}{gy^2 B} \frac{dB}{dx} = 0 \quad (15)$$

$$\frac{dy}{dx} (1 - F_r^2) - F_r^2 \frac{y}{B} \frac{dB}{dx} = 0 \quad (16)$$

Assim com a equação final obtida podemos estudar os alargamentos e estreitamentos horizontais em seções de canais:

1. Alargamento de seção

$$\frac{dB}{dx} > 0 \rightarrow \frac{dy}{dx} (1 - F_r^2) > 0$$

$Fr < 1 \rightarrow dy/dx > 0$ – profundidade de escoamento aumenta

$Fr > 1 \rightarrow dy/dx < 0$ – profundidade de escoamento diminui

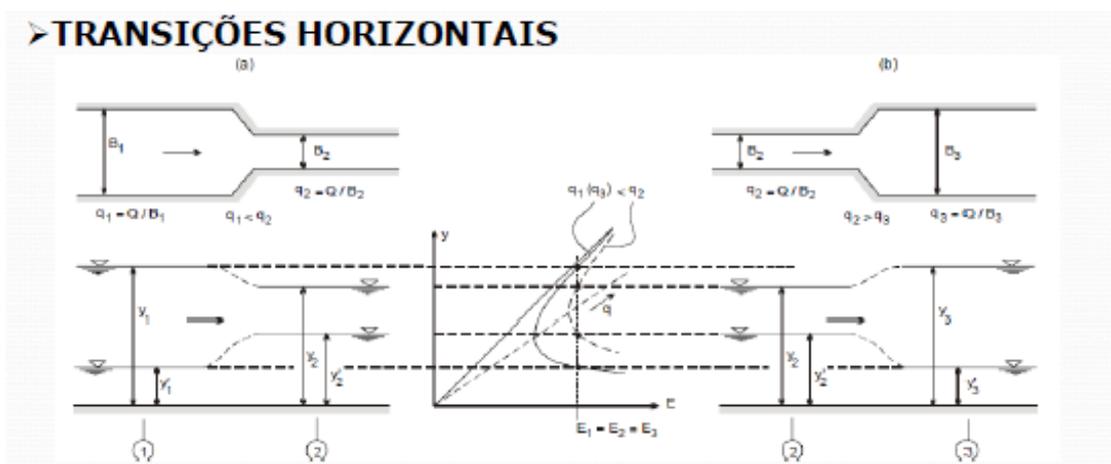
2. Estreitamento de seção

$$\frac{dB}{dx} < 0 \rightarrow \frac{dy}{dx} (1 - F_r^2) < 0$$

$Fr < 1 \rightarrow dy/dx < 0$ – profundidade de escoamento diminui

$Fr > 1 \rightarrow dy/dx > 0$ – profundidade de escoamento aumenta

Figura 6 – Transições horizontais.



Fonte: PAIVA (2012).

4 METODOLOGIA

Foi desenvolvida uma planilha eletrônica com base nos conhecimentos sobre canais e suas transições. Foi realizada uma extensa pesquisa em bibliografias clássicas a fim de fundamentar o desenvolvimento da referida planilha.

Para o desenvolvimento das planilhas eletrônicas foi considerado: transição gradualmente variada e a perda de carga na transição desprezível.

A planilha tem uma divisão dos dados de entrada em: dados a montante e dados a jusante.

Nos dados a montante pode-se entrar com a vazão de projeto (Q), a lâmina d'água a montante (y_1), o comprimento da base do canal (se trapezoidal será a base menor) (b_1), e os ângulos dos taludes em relação à horizontal (θ_{esq} e θ_{dir})

Nos dados a jusante tem-se: o comprimento da base do canal (se trapezoidal, a base menor) (b_2), os valores dos ângulos dos taludes em relação à horizontal (θ_{esq} e θ_{dir}) e o valor do aclave ou declive do canal (Δz). Foi convencionalizado o valor maior que zero para aclave e menor que zero para declive.

Os dados de saída da seção a montante são a base maior (B_1), a área da seção (A_1), a velocidade do escoamento (v_1), a energia específica (E_1) e o número de Froude (F_1).

Já os dados de saída a jusante são: a base maior (B_2), a área da seção (A_2), a velocidade de escoamento (v_2), a energia específica (E_2), a altura da lâmina d'água (y_2), o número de Froude da seção (F_2), a altura crítica da lâmina d'água (y_{2c}), a largura crítica da base maior (B_{c2}), a área crítica da seção (A_{c2}) e largura mínima da base menor (b_{min}), este último é o mínimo valor para permanecer a jusante o mesmo regime de escoamento de montante.

Todos os dados estão no sistema internacional de unidades.

Foram criadas duas planilhas, a planilha (01) que é usada para o caso em que a largura da base menor a jusante é maior que a largura mínima da base menor a jusante ($b_2 > b_{\text{min}}$) e a planilha (02) para o caso em que a largura da base menor a jusante é menor ou igual que a largura mínima da base menor a jusante ($b_2 \leq b_{\text{min}}$).

Para a obtenção da largura mínima da base e da altura crítica da lâmina d'água a jusante fez-se uso da ferramenta Solver do Excel, onde esses dados foram as variáveis de decisão, a função objetivo foi o número de Froude

elevado ao quadrado (Equações 17, 18 e 19) e as restrições foram a largura mínima da base (Equação 21) e a altura da lamina d'água crítica (Equação 22) maiores que zero e a energia específica a montante igual a energia crítica (Equação 20).

$$\frac{Q^2}{g} = \frac{A_{c2}^3}{B_{c2}} \quad (17)$$

$$\frac{Q^2}{g} - \frac{A_{c2}^3}{B_{c2}} = 0 \quad (18)$$

$$\text{FO: } F_r^2 = \frac{Q^2 B_{c2}}{g A_{c2}^3} = 1 \quad (19)$$

RESTRIÇÕES:

$$E_2 = y_{c2} + \frac{Q^2}{2gA_{c2}^2} \quad (20)$$

$$b_{min} \geq 0 \quad (21)$$

$$y_{c2} \geq 0 \quad (22)$$

Onde:

FO = função objetivo;

F_r = número de Froude;

Q = vazão;

A_c = área crítica;

B_c = base maior crítica;

b_{min} = base menor mínima (crítica) a jusante;

g = aceleração da gravidade;

E_2 = energia específica a jusante;

y_{c2} = lâmina d'água crítica a jusante.

Quando a largura da base menor a jusante (b_2) for menor que a largura mínima da base menor a jusante (b_{min}), há uma alteração no regime com o estrangulamento da seção, assim a planilha automaticamente recalcula a energia específica à jusante e altera o valor da lâmina d'água a montante e de todos os parâmetros a montante.

Quando a largura da base a jusante (b_2) for maior que a largura mínima a jusante (b_{\min}), a lâmina d'água será calculada através de uma macro programada em Visual Basic, também no Excel.

No Quadro 01, abaixo será apresentado um quadro resumo com o procedimento de uso das planilhas:

Quadro 01 – Resumo dos procedimentos.

1- Entrada de dados da seção a montante e a jusante na planilha (01)
2- Processar a função SOLVER da planilha (01)
3- Observar se o b_{\min} dado no SOLVER é maior ou menor que o b_2 3.1- Se $b_2 > b_{\min}$, processar a macro. 3.2- Se $b_2 < b_{\min}$, ir para a planilha (02) 3.2.1- Entrar com os dados da seção na planilha (02) 3.2.2 - Processar o SOLVER da planilha (02) 3.2.3 - Processar a MACRO da planilha (02)
4- Obtenção dos resultados

5 RESULTADOS

Primeiramente, a fim de verificar o nível de precisão das planilhas desenvolvidas há de se proceder com um teste com os resultados obtidos de <http://filebox.vt.edu/users/moglen/ocf/index.html> com exemplos de transição em canais.

O artigo é referente há um estreitamento da seção de canal retangular com um declive do fundo de 2ft, altura da lâmina d'água a jusante de 3,75ft e vazão de 150ft³/s, todas as unidades estão no sistema inglês de medidas e foram conservadas neste sistema para verificação dos resultados..

Os dados de entrada foram extraídos de <http://filebox.vt.edu/users/moglen/ocf/index.html> e são:

$$Q = 150\text{ft}^3/\text{s}; b_1 = 10\text{ft}; b_2 = 5\text{ft}; y_1 = 3,75\text{ ft e } \Delta z = 2,0\text{ ft.}$$

Os dados de saída são:

$$E_2 = 6,0\text{ft}; y_{2c} = 4\text{ft}; b_{\min} = 3,30\text{ft}; y_2 = 5,55\text{ ft}; F_1 = 0,36\text{ e } F_2 = 0,40.$$

Analisando os dados na planilha (01) obtém os seguintes resultados:

DADOS A MONTANTE	
Q=	150 ft ³ /s
Y1=	3,75 ft
b1=	10 ft
θesq=	90 °
θdir=	90 °

B1	10,00 ft
A1=	37,50 ft ²
v1=	4,00 ft/s
E1=	4,00 ft
F1=	0,36

DADOS A JUSANTE	
b2=	5 ft
ΔZ=	-2 ft
θesq=	90 °
θdir=	90 °

B2=	5 ft
A2=	27,7 ft ²
v2=	5,42 ft/s
E2=	6,00 ft
y2=	5,54 ft
bmin=	3,3 f
F2=	0,405
y2c=	4,00 ft
Bc2=	3,306 ft
Ac2=	13,22 ft ²

Vemos que os parâmetros de saída da planilha são exatamente os mesmos observados no artigo. Assim há um nível de precisão muito satisfatório de aplicação da planilha.

Agora o artigo reduz a largura do canal a jusante para 3 ft, ou seja, para uma largura menor que a largura mínima, mas os outros dados permanecem inalterados. No fim é apresentado o valor da lâmina d'água a jusante, da nova energia específica à jusante e a montante e do novo valor da altura da lâmina d'água a montante.

Os dados de saída são:

$$y_2 = 4,27\text{ft}; E_{1\text{nov}} = 4,40\text{ft}; E_{2\text{nov}} = 6,40\text{ft}; y_{1\text{nov}} = 4,20\text{ft}.$$

Analisando os dados na planilha (02) obtém os seguintes resultados:

DADOS A MONTANTE	
Q=	150 ft ³ /s
Y1=	3,75 ft
b1=	10 ft
θesq=	90°
θdir=	90°

B1	10,00 ft
A1=	37,50 ft ²
v1=	4,00 ft/s
E1=	4,00 ft
F1=	0,364

B1novo	10,00 ft
A1novo	42,01 ft ²
v1novo	3,57 ft/s
E1novo	4,40 ft
F1novo	0,31
y1novo	4,20 ft

DADOS A JUSANTE	
b2=	3 ft
ΔZ=	-2 ft
θesq=	90°
θdir=	90°

B2=	3,00 ft
A2=	12,80 ft ²
v2=	11,72 ft/s
E2=	6,00 ft
y2=	4,27 ft
bmin=	3,31 ft
F2=	1,000
y2c=	4,00 ft
Bc2=	3,31 ft
Ac2=	13,22 ft ²
E2novo=	6,40 ft

Com isso temos 100 por cento de precisão de nossas planilhas, pois os resultados dados no artigo são exatamente os mesmos que obtemos na nossa planilha.

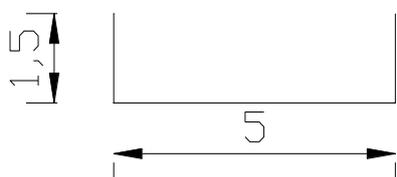
Portanto podemos aplica-las em diversos casos como exemplificados a seguir.

Após o desenvolvimento das planilhas, foram testados diversos casos de seções de canais a fim de comprovar o resultado prático de nossa pesquisa.

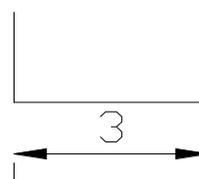
Abaixo serão apresentadas algumas simulações feitas com as planilhas. Nos casos analisados, a seção a montante e a jusante, o perfil do fundo do canal, os dados de entrada e de saída, o gráfico com o perfil do fundo do canal, da superfície livre e da linha de energia específica e ao fim um comentário a respeito do caso estudado.

01-Seção Retangular – Estreitamento e declive

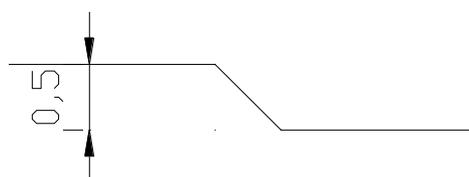
Seção a montante



Seção a jusante



Perfil do fundo do canal



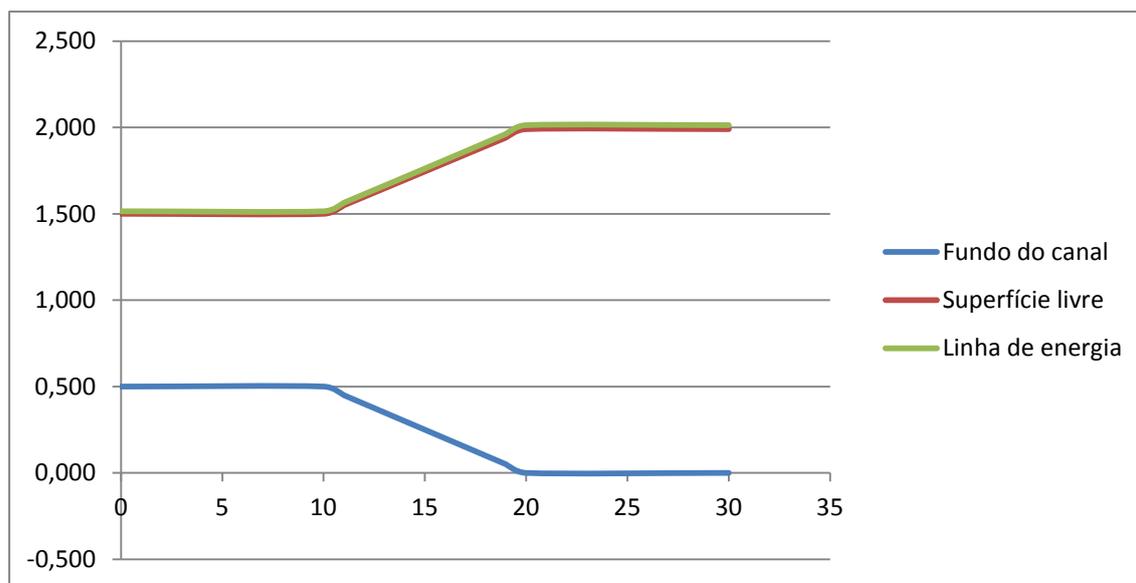
DADOS A MONTANTE	
Q=	4 m ³ /s
Y1=	1,5 m
b1=	5 m
θesq=	90°
θdir=	90°

B1	5,00 m
A1=	7,50 m ²
v1=	0,53 m/s
E1=	1,51 m
F1=	0,139

DADOS A JUSANTE	
b2=	3 m
ΔZ=	-0,5 m
θesq=	90°
θdir=	90°

B2=	3 m
A2=	5,97 m ²
v2=	0,67 m/s
E2=	2,01 m
y2=	1,99 m
bmin=	0,82 m
F2=	0,152
y2c=	1,34 m
Bc2=	0,82 m
Ac2=	1,10 m ²

Figura 7 – Perfis do fundo do canal, da superfície livre e da linha de energia.

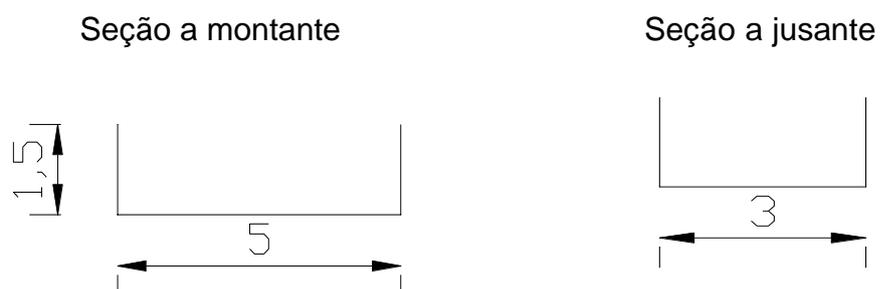


Neste caso a montante há um canal com seção retangular, largura da base de 5m e altura de lâmina d'água de 1,5m.

A jusante há uma seção retangular com largura da base de 3m. Entre as duas seções existem um declive de 0,5 m do fundo do canal ocorrendo por uma transição gradual.

O resultado mostra que não há mudança no regime do escoamento, pois a largura a jusante é maior que a largura mínima exigida para haver permanência de escoamento.

02-Seção Retangular – Estreitamento e active



Perfil do fundo do canal

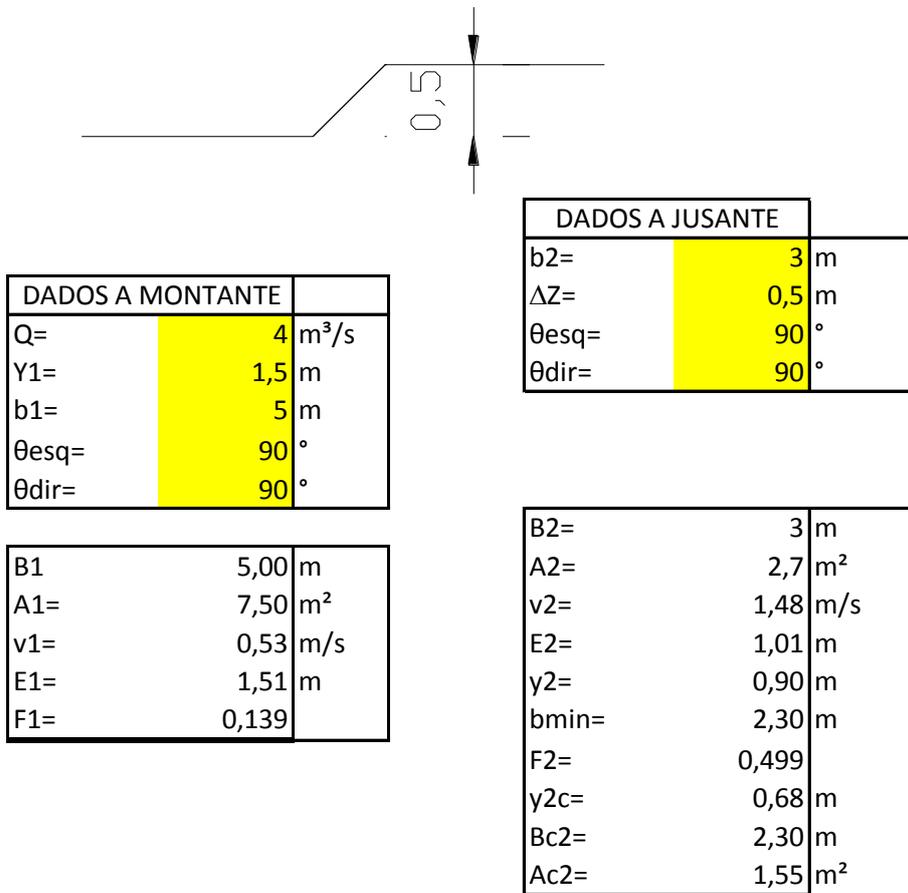
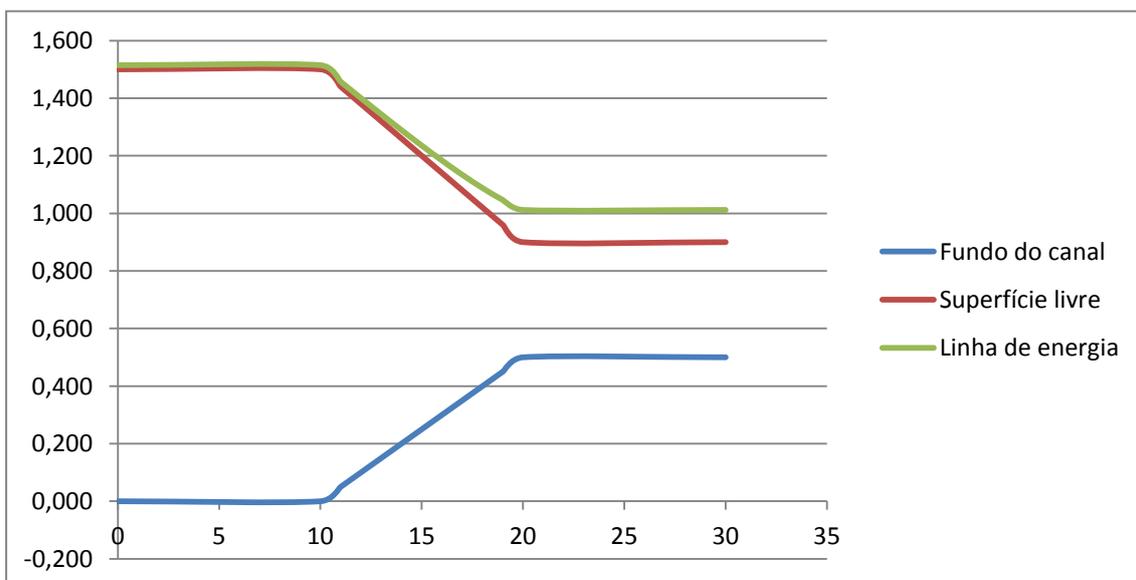


Figura 8 – Perfis do fundo do canal, da superfície livre e da linha de energia.



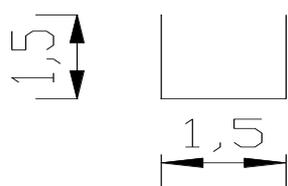
Neste caso há a montante um canal com seção retangular, largura da base de 5m e altura de lâmina d'água de 1,5m.

A jusante há uma seção retangular com largura da base de 3m. Entre as duas seções existem um aclave de 0,5 m do fundo do canal ocorrendo por uma transição gradual.

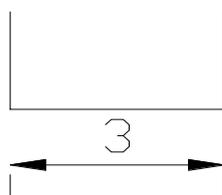
O resultado mostra que não há mudança no regime do escoamento, pois a largura a jusante é maior que a largura mínima exigida para haver permanência de escoamento.

03-Seção Retangular – Alargamento e declive

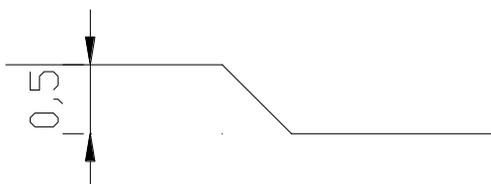
Seção a montante



Seção a jusante



Perfil do fundo do canal



DADOS A MONTANTE	
Q=	4 m ³ /s
Y1=	1,5 m
b1=	1,5 m
θesq=	90°
θdir=	90°

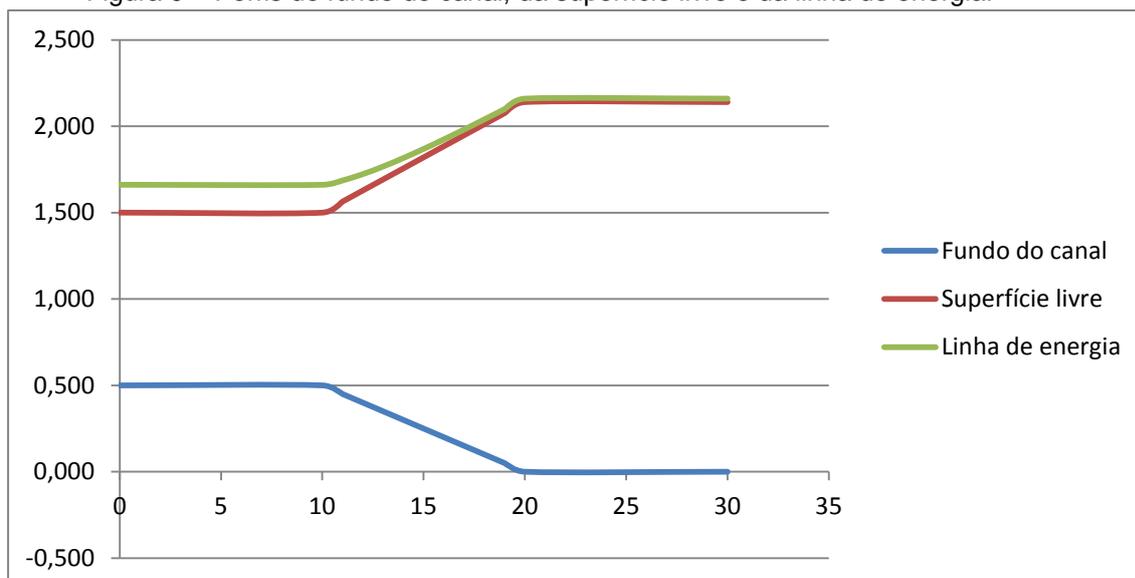
B1	1,50 m
A1=	2,25 m ²
v1=	1,78 m/s
E1=	1,66 m
F1=	0,463

DADOS A JUSANTE	
b2=	3 m
ΔZ=	-0,5 m
θesq=	90°
θdir=	90°

B2=	3 m
A2=	6,42 m ²
v2=	0,62 m/s
E2=	2,16 m
y2=	2,14 m
bmin=	0,74 m
F2=	0,136
y2c=	1,44 m
Bc2=	0,74 m
Ac2=	1,06 m ²

Neste caso a montante há um canal com seção retangular, largura da base de 1,5m e altura de lâmina d'água de 1,5m.

Figura 9 – Perfis do fundo do canal, da superfície livre e da linha de energia.

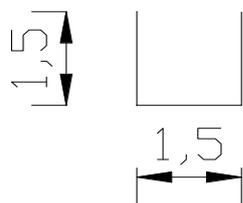


A jusante há uma seção retangular com largura da base de 3m. Entre as duas seções existem um declive de 0,5 m do fundo do canal ocorrendo por uma transição gradual.

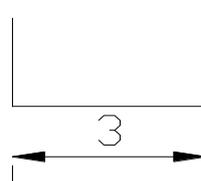
O resultado mostra que não há mudança no regime do escoamento, pois a largura a jusante é maior que a largura mínima exigida para haver permanência de escoamento.

04-Seção Retangular – Alargamento e aclave

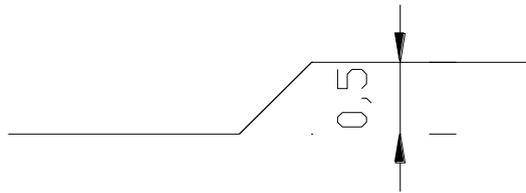
Seção a montante



Seção a jusante



Perfil do fundo do canal



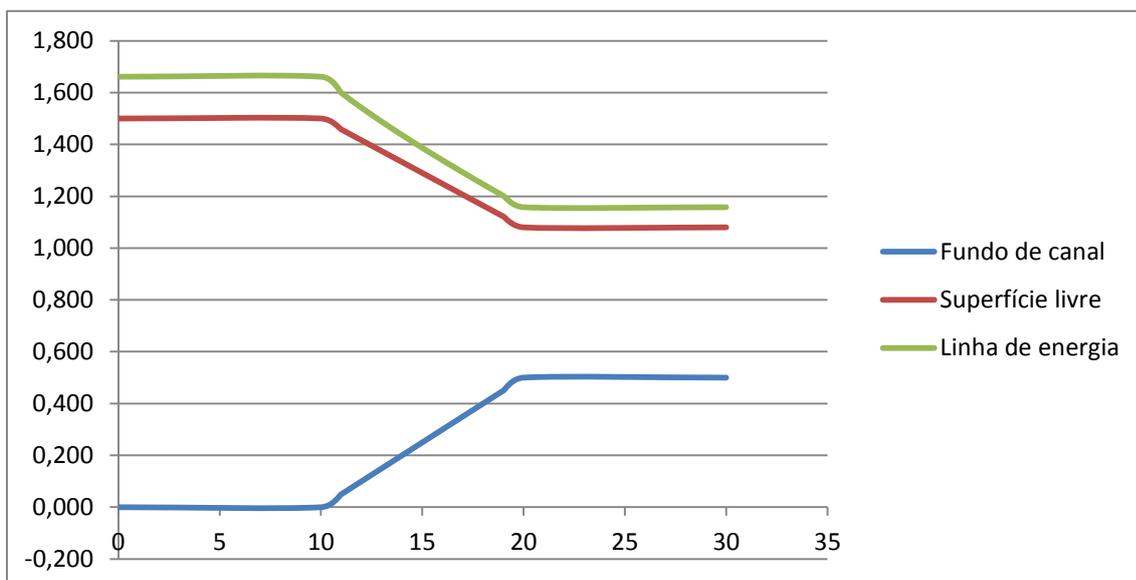
DADOS A MONTANTE	
Q=	4 m ³ /s
Y1=	1,5 m
b1=	1,5 m
θesq=	90°
θdir=	90°

B1	1,50 m
A1=	2,25 m ²
v1=	1,78 m/s
E1=	1,66 m
F1=	0,463

DADOS A JUSANTE	
b2=	3 m
ΔZ=	0,5 m
θesq=	90°
θdir=	90°

B2=	3 m
A2=	3,24 m ²
v2=	1,23 m/s
E2=	1,16 m
y2=	1,08 m
bmin=	1,88 m
F2=	0,379
y2c=	0,77 m
Bc2=	1,88 m
Ac2=	1,45 m ²

Figura 10 – Perfis do fundo do canal, da superfície livre e da linha de energia.



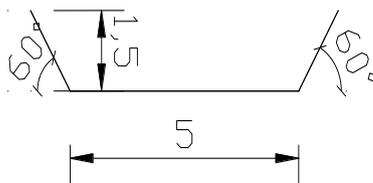
Neste caso a montante há um canal com seção retangular, largura da base de 1,5m e altura de lâmina d'água de 1,5m.

A jusante há uma seção retangular com largura da base de 3m. Entre as duas seções existem um aclave de 0,5 m do fundo do canal ocorrendo por uma transição gradual.

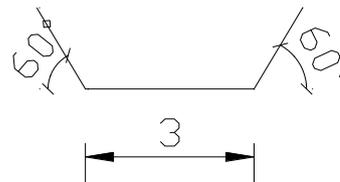
O resultado mostra que não há mudança no regime do escoamento, pois a largura a jusante é maior que a largura mínima exigida para haver permanência de escoamento.

05-Seção Trapezoidal – Estreitamento e aclave ($b_2 < b_{min}$)

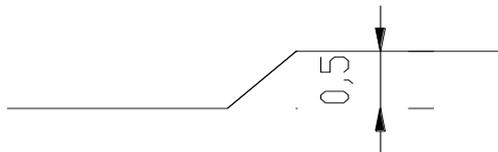
Seção a montante



Seção a jusante



Perfil do fundo do canal



DADOS A MONTANTE	
Q=	15 m ³ /s
Y1=	1,5 m
b1=	5 m
θesq=	60°
θdir=	60°

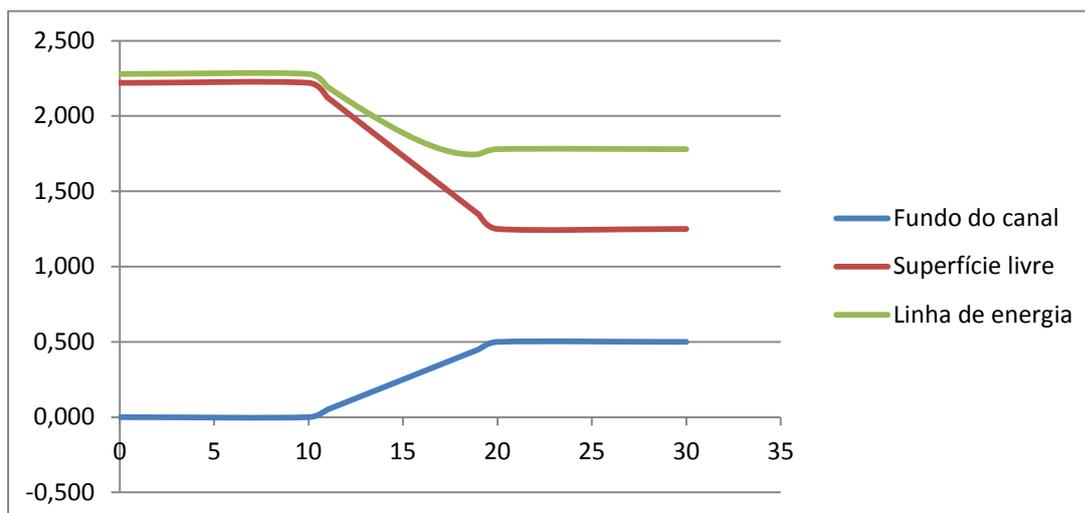
B1	6,73 m
A1=	8,80 m ²
v1=	1,70 m/s
E1=	1,65 m
F1=	0,476

B1novo	7,56 m
A1novo	13,95 m ²
v1novo	1,08 m/s
E1novo	2,28 m
F1novo	0,25
y1novo	2,22 m

DADOS A JUSANTE	
b2=	3 m
ΔZ=	0,5 m
θesq=	60°
θdir=	60°

B2=	4,44877 m
A2=	4,672878 m ²
v2=	3,21 m/s
E2=	1,15 m
y2=	1,25 m
bmin=	6,71 m
F2=	1,000
y2c=	0,78 m
Bc2=	7,61 m
Ac2=	5,59 m ²
E2novo=	1,779859 m

Figura 11 – Perfis do fundo do canal, da superfície livre e da linha de energia.



Neste caso há a montante um canal com seção trapezoidal, largura da base de 5m, altura de lâmina d'água de 1,5m e ângulo das paredes em relação a horizontal de 60°.

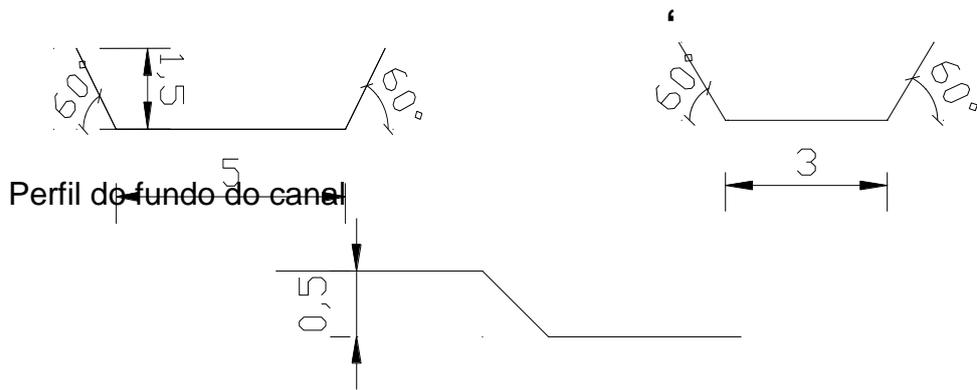
A jusante há uma seção trapezoidal com largura da base de 3m e ângulo das paredes em relação a horizontal de 60°. Entre as duas seções existem um aclave de 0,5 m do fundo do canal ocorrendo por uma transição gradual.

O resultado mostra que há mudança no regime do escoamento, pois a largura a jusante é menor que a largura mínima exigida para haver permanência de escoamento. Assim foi recalculada a energia específica a jusante e todos os parâmetros a montante, pois como houve mudança da altura de lamina d'água todos os outros parâmetros modificaram, com isso podemos observar um significativo aumento de y_1 .

06-Seção Trapezoidal – Estreitamento e declive

Seção a montante

Seção a jusante



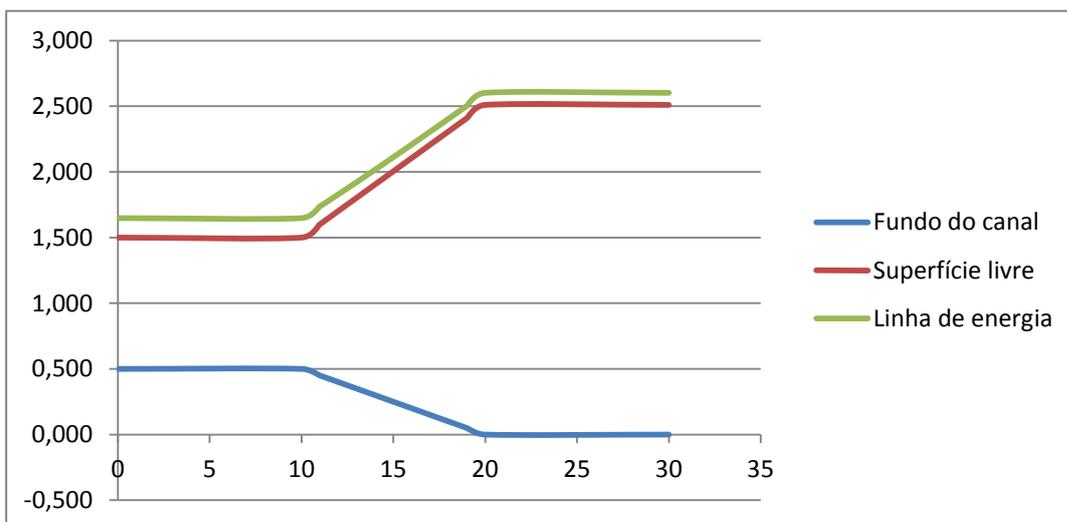
DADOS A MONTANTE	
Q=	15 m ³ /s
Y1=	1,5 m
b1=	5 m
θesq=	60°
θdir=	60°

DADOS A JUSANTE	
b2=	3 m
ΔZ=	-0,5 m
θesq=	60°
θdir=	60°

B1	5,87 m
A1=	8,15 m ²
v1=	1,84 m/s
E1=	1,67 m
F1=	0,499

B2=	5,748187 m
A2=	10,41034 m ²
v2=	1,44 m/s
E2=	2,49 m
y2=	2,38 m
bmin=	1,02 m
F2=	0,342
y2c=	1,96 m
Bc2=	3,29 m
Ac2=	4,22 m ²

Figura 12 – Perfis do fundo do canal, da superfície livre e da linha de energia.



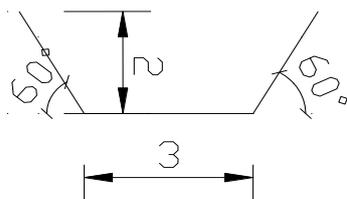
Neste caso há a montante um canal com seção trapezoidal, largura da base de 5m, altura de lâmina d'água de 1,5m e ângulo das paredes em relação a horizontal de 60°.

A jusante há uma seção trapezoidal com largura da base de 3m e ângulo das paredes em relação a horizontal de 60°. Entre as duas seções temos um aclave de 0,5 m do fundo do canal ocorrendo por uma transição gradual.

O resultado mostra que não há mudança no regime do escoamento, pois a largura a jusante é maior que a largura mínima exigida para haver permanência de escoamento.

07-Seção Trapezoidal – Alargamento e aclave

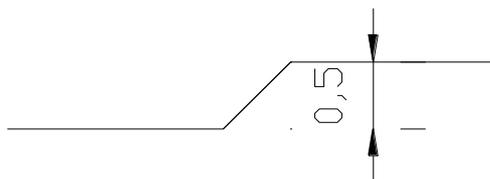
Seção a montante



Seção a jusante



Perfil do fundo do canal



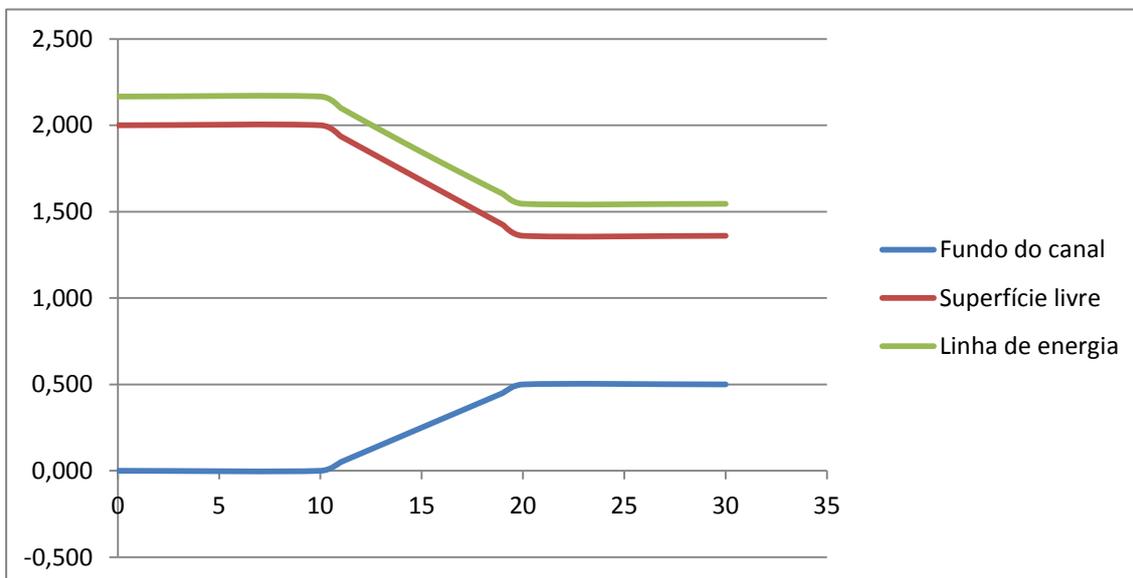
DADOS A MONTANTE	
Q=	15 m ³ /s
Y1=	2 m
b1=	3 m
θesq=	60°
θdir=	60°

B1	5,31 m
A1=	8,31 m ²
v1=	1,81 m/s
E1=	2,17 m
F1=	0,461

DADOS A JUSANTE	
b2=	5 m
ΔZ=	0,5 m
θesq=	60°
θdir=	60°

B2=	6,570393 m
A2=	7,867867 m ²
v2=	1,91 m/s
E2=	1,55 m
y2=	1,36 m
bmin=	3,67 m
F2=	0,556
y2c=	1,12 m
Bc2=	4,97 m
Ac2=	4,85 m ²

Figura 13 – Perfis do fundo do canal, da superfície livre e da linha de energia.



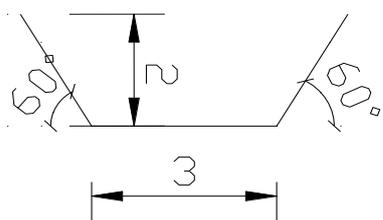
Neste caso há a montante um canal com seção trapezoidal, largura da base de 3m, altura de lâmina d'água de 2m e ângulo das paredes em relação a horizontal de 60°.

A jusante há uma seção trapezoidal com largura da base de 5m e ângulo das paredes em relação a horizontal de 60°. Entre as duas seções existe um aclave de 0,5 m do fundo do canal ocorrendo por uma transição gradual.

O resultado mostra que não há mudança no regime do escoamento, pois a largura a jusante é maior que a largura mínima exigida para haver permanência de escoamento.

08-Seção Trapezoidal – Alargamento e declive

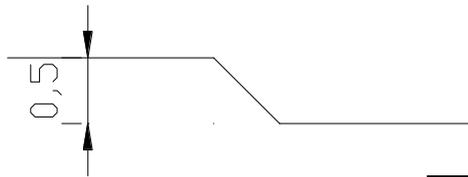
Seção a montante



Seção a jusante



Perfil do fundo do canal



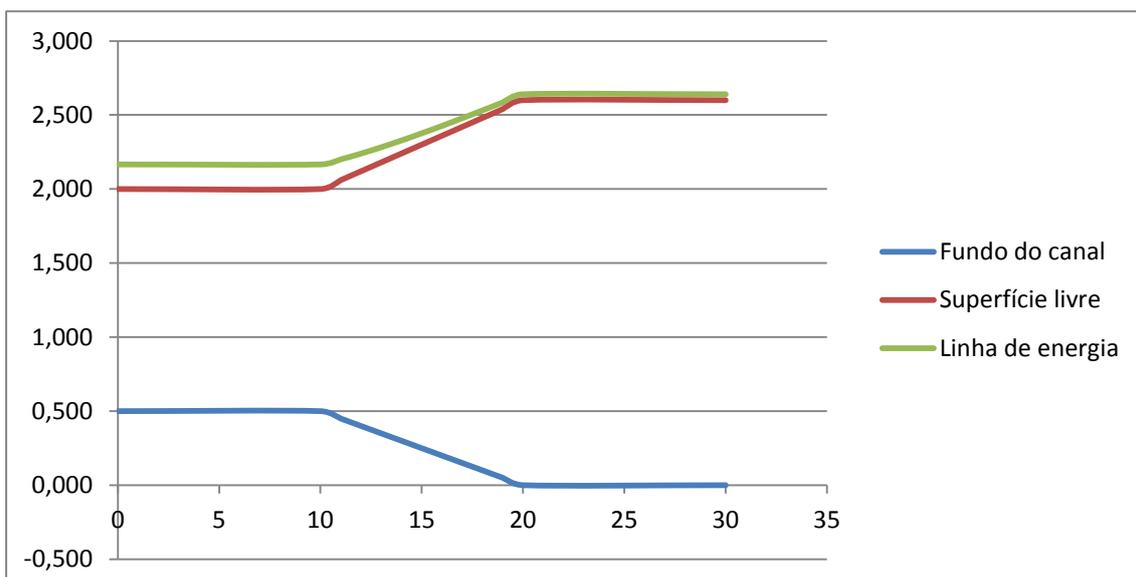
DADOS A MONTANTE	
Q=	15 m ³ /s
Y1=	2 m
b1=	3 m
θesq=	60°
θdir=	60°

B1	5,31 m
A1=	8,31 m ²
v1=	1,81 m/s
E1=	2,17 m
F1=	0,461

DADOS A JUSANTE	
b2=	5 m
ΔZ=	-0,5 m
θesq=	60°
θdir=	60°

B2=	8,002221 m
A2=	16,90289 m ²
v2=	0,89 m/s
E2=	2,64 m
y2=	2,60 m
bmin=	0,91 m
F2=	0,195
y2c=	2,02 m
Bc2=	3,25 m
Ac2=	4,21 m ²

Figura 14 – Perfis do fundo do canal, da superfície livre e da linha de energia.

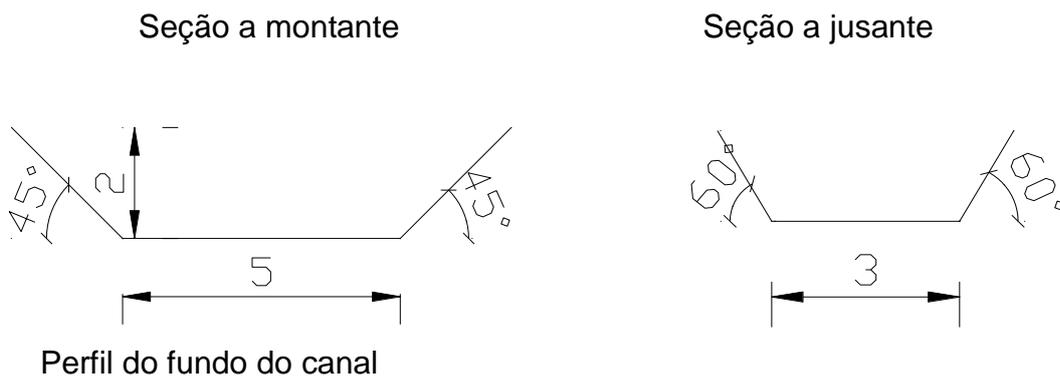


Neste caso há a montante um canal com seção trapezoidal, largura da base de 3m, altura de lâmina d'água de 2m e ângulo das paredes em relação a horizontal de 60°.

A jusante há uma seção trapezoidal com largura da base de 5m e ângulo das paredes em relação a horizontal de 60°. Entre as duas seções existem um declive de 0,5 m do fundo do canal ocorrendo por uma transição gradual.

O resultado mostra que não há mudança no regime do escoamento, pois a largura a jusante é maior que a largura mínima exigida para haver permanência de escoamento.

09-Seção Trapezoidal – Estreitamento e declive



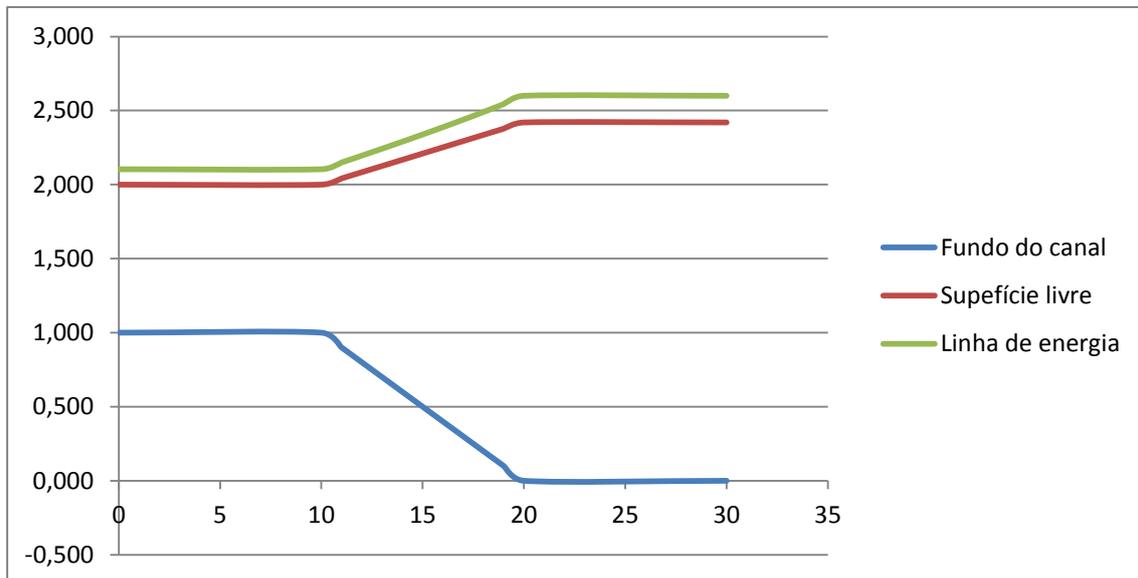
DADOS A MONTANTE	
Q=	20 m ³ /s
Y1=	2 m
b1=	5 m
θesq=	45 °
θdir=	45 °

B1	9,00 m
A1=	14,00 m ²
v1=	1,43 m/s
E1=	2,10 m
F1=	0,366

DADOS A JUSANTE	
b2=	3 m
ΔZ=	-1 m
θesq=	60 °
θdir=	60 °

B2=	5,794375 m
A2=	10,64119 m ²
v2=	1,88 m/s
E2=	2,60 m
y2=	2,42 m
bmin=	1,34 m
F2=	0,443
y2c=	2,10 m
Bc2=	3,76 m
Ac2=	5,35 m ²

Figura 15 – Perfis do fundo do canal, da superfície livre e da linha de energia.



Neste caso há a montante um canal com seção trapezoidal, largura da base de 5m, altura de lâmina d'água de 2m e ângulo das paredes em relação a horizontal de 45°.

A jusante há uma seção trapezoidal com largura da base de 3m e ângulo das paredes em relação a horizontal de 60°. Entre as duas seções existe um declive de 1m do fundo do canal ocorrendo por uma transição gradual.

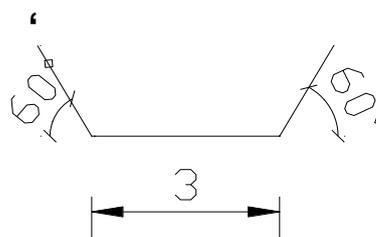
O resultado mostra que não há mudança no regime do escoamento, pois a largura a jusante é maior que a largura mínima exigida para haver permanência de escoamento.

10-Seção Trapezoidal – Estreitamento e aclave

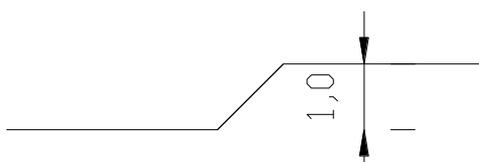
Seção a montante



Seção a jusante



Perfil do fundo do canal



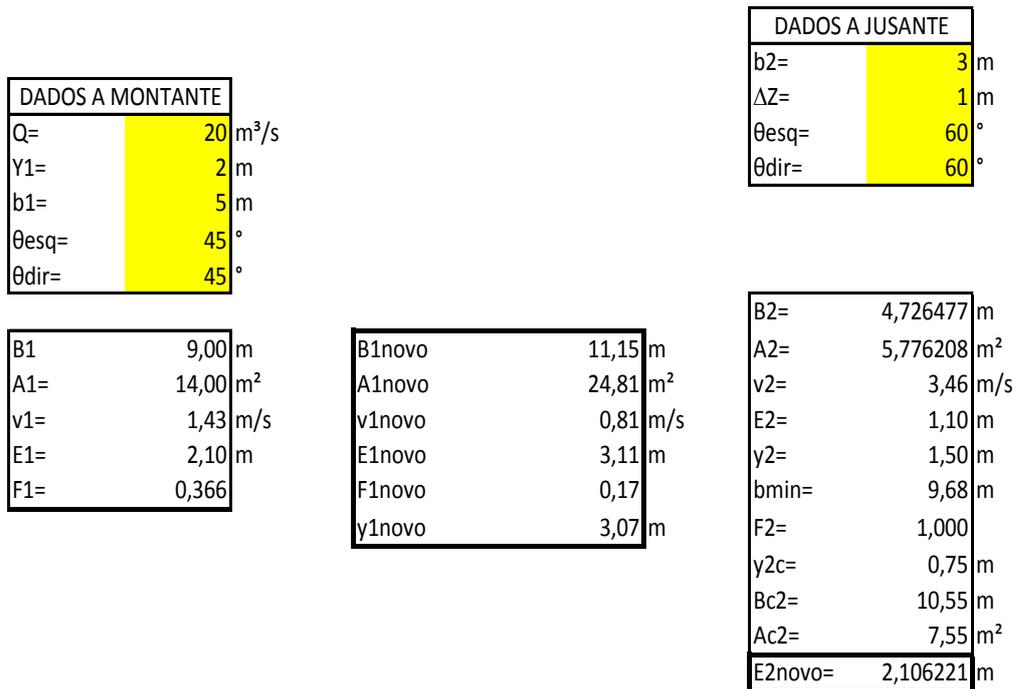
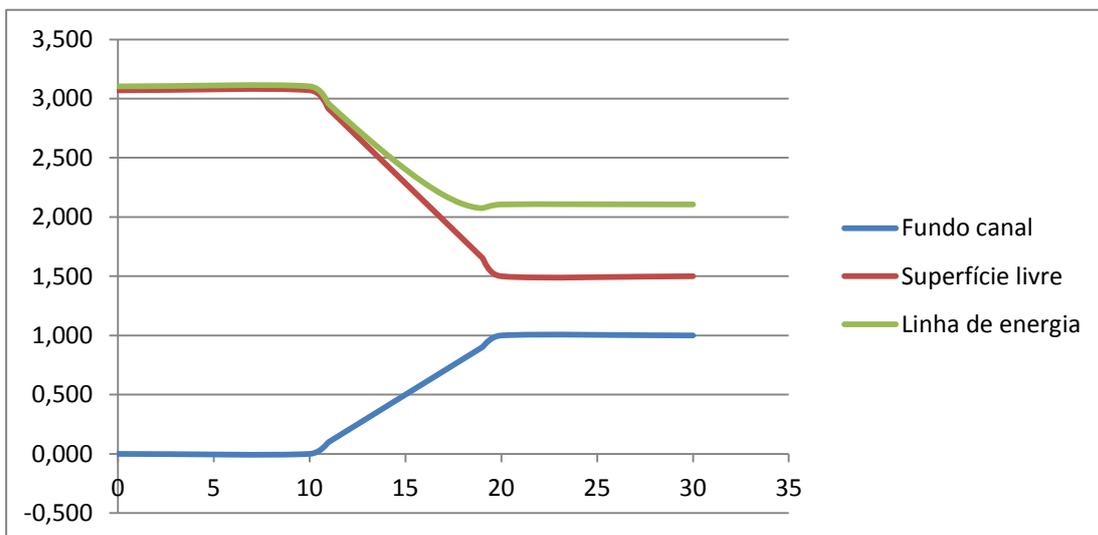


Figura 16 – Perfis do fundo do canal, da superfície livre e da linha de energia.

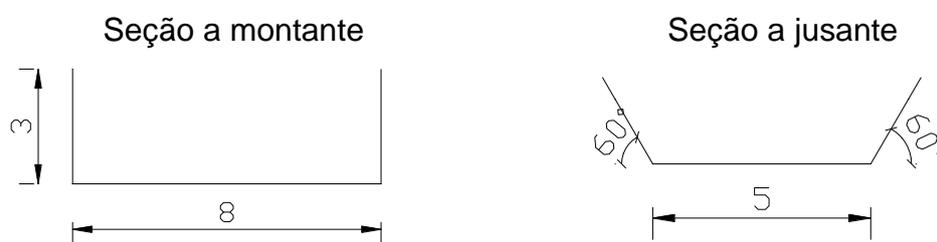


Neste caso há a montante um canal com seção trapezoidal, largura da base de 5m, altura de lâmina d'água de 2m e ângulo das paredes em relação a horizontal de 45°.

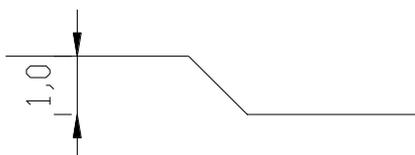
A jusante há uma seção trapezoidal com largura da base de 3m e ângulo das paredes em relação a horizontal de 60° . Entre as duas seções existem um aclave de 1m do fundo do canal ocorrendo por uma transição gradual.

O resultado mostra que há mudança no regime do escoamento, pois a largura a jusante é menor que a largura mínima exigida para haver permanência de escoamento. Assim foi recalculada a energia específica a jusante e todos os parâmetros a montante, pois como houve mudança da altura de lamina d'água todos os outros parâmetros modificaram, com isso podemos observar um significativo aumento de y_1 .

11-Seção Retangular/trapezoidal – Estreitamento e declive



Perfil do fundo do canal



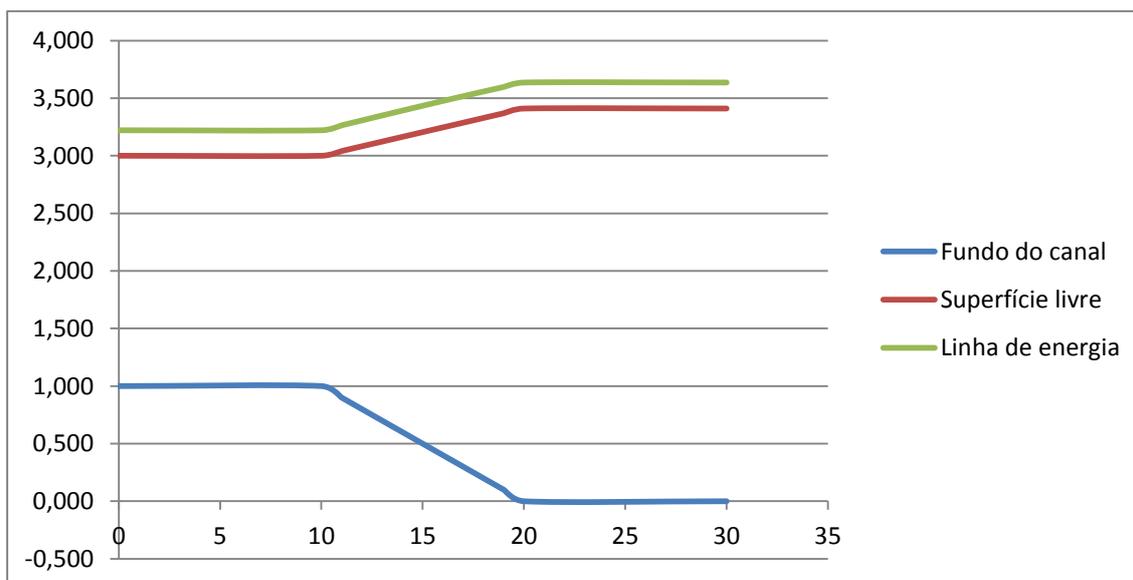
DADOS A MONTANTE	
Q=	50 m ³ /s
Y1=	3 m
b1=	8 m
θesq=	90°
θdir=	90°

B1	8,00	m
A1=	24,00	m ²
v1=	2,08	m/s
E1=	3,22	m
F1=	0,384	

DADOS A JUSANTE	
b2=	5 m
ΔZ=	-1 m
θesq=	60°
θdir=	60°

B2=	8,937529	m
A2=	23,76349	m ²
v2=	2,10	m/s
E2=	3,64	m
y2=	3,41	m
bmin=	2,32	m
F2=	0,412	
y2c=	2,84	m
Bc2=	5,60	m
Ac2=	11,26	m ²

Figura 17 – Perfis do fundo do canal, da superfície livre e da linha de energia.



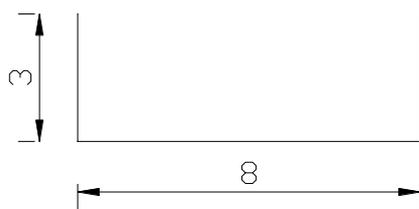
Neste caso há a montante um canal com seção retangular, largura da base de 8m e altura de lâmina d'água de 3m.

A jusante há uma seção trapezoidal com largura da base de 5m e ângulo das paredes em relação a horizontal de 60° . Entre as duas seções existem um declive de 1m do fundo do canal ocorrendo por uma transição gradual.

O resultado mostra que não há mudança no regime do escoamento, pois a largura a jusante é maior que a largura mínima exigida para haver permanência de escoamento.

12-Seção Retangular/trapezoidal – Estreitamento e aclave

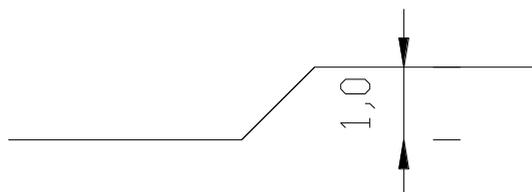
Seção a montante



Seção a jusante



Perfil do fundo do canal



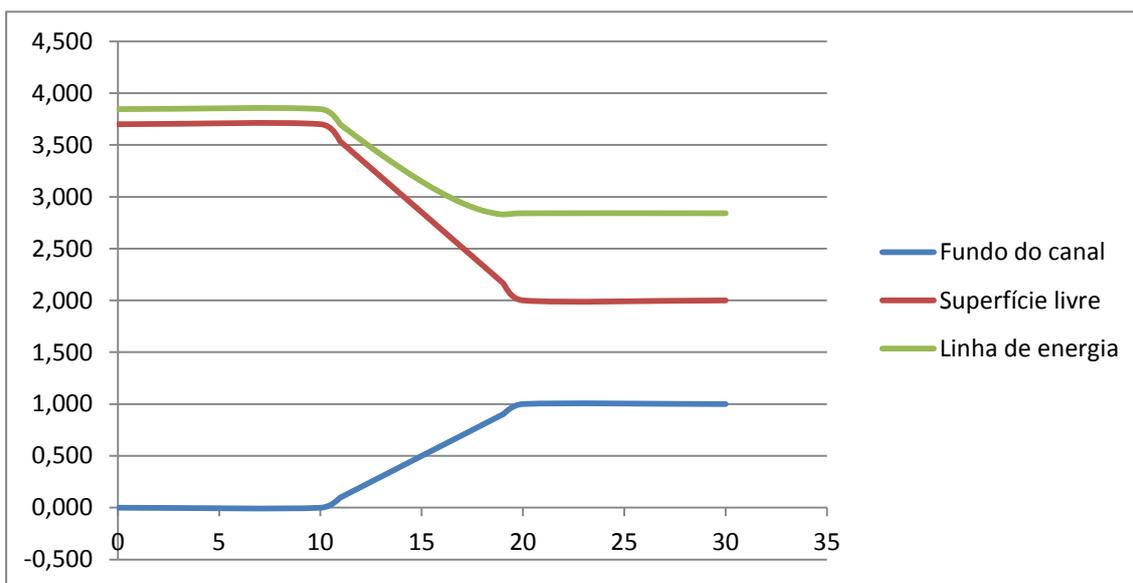
DADOS A MONTANTE	
Q=	50 m ³ /s
Y1=	3 m
b1=	8 m
θesq=	90°
θdir=	90°

B1	8,00 m	B1novo	8,00 m
A1=	24,00 m ²	A1novo	29,56 m ²
v1=	2,08 m/s	v1novo	1,69 m/s
E1=	3,22 m	E1novo	3,84 m
F1=	0,384	F1novo	0,28
		y1novo	3,70 m

DADOS A JUSANTE	
b2=	5 m
ΔZ=	1 m
θesq=	60°
θdir=	60°

B2=	7,308487 m
A2=	12,30362 m ²
v2=	4,06 m/s
E2=	2,22 m
y2=	2,00 m
bmin=	7,99 m
F2=	1,000
y2c=	1,53 m
Bc2=	9,75 m
Ac2=	13,55 m ²
E2novo=	2,840944 m

Figura 18 – Perfis do fundo do canal, da superfície livre e da linha de energia.



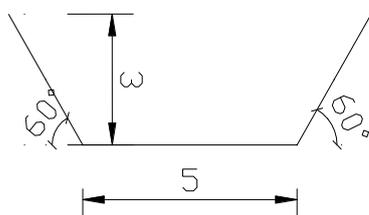
Neste caso há a montante um canal com seção retangular, largura da base de 8m e altura de lâmina d'água de 3m.

A jusante há uma seção trapezoidal com largura da base de 5m e ângulo das paredes em relação a horizontal de 60°. Entre as duas seções existem um aclave de 1m do fundo do canal ocorrendo por uma transição gradual.

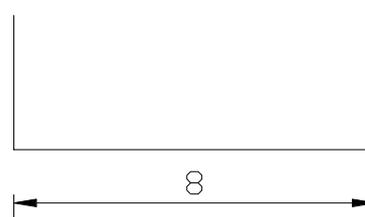
O resultado mostra que há mudança no regime do escoamento, pois a largura a jusante é menor que a largura mínima exigida para haver permanência de escoamento. Assim foi recalculada a energia específica a jusante e todos os parâmetros a montante, pois como houve mudança da altura de lamina d'água todos os outros parâmetros modificaram, com isso podemos observar um significativo aumento de y_1 .

13-Seção Trapezoidal/ retangular – Alargamento e declive

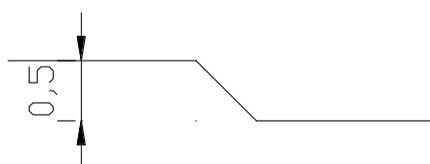
Seção a montante



Seção a jusante



Perfil do fundo do canal



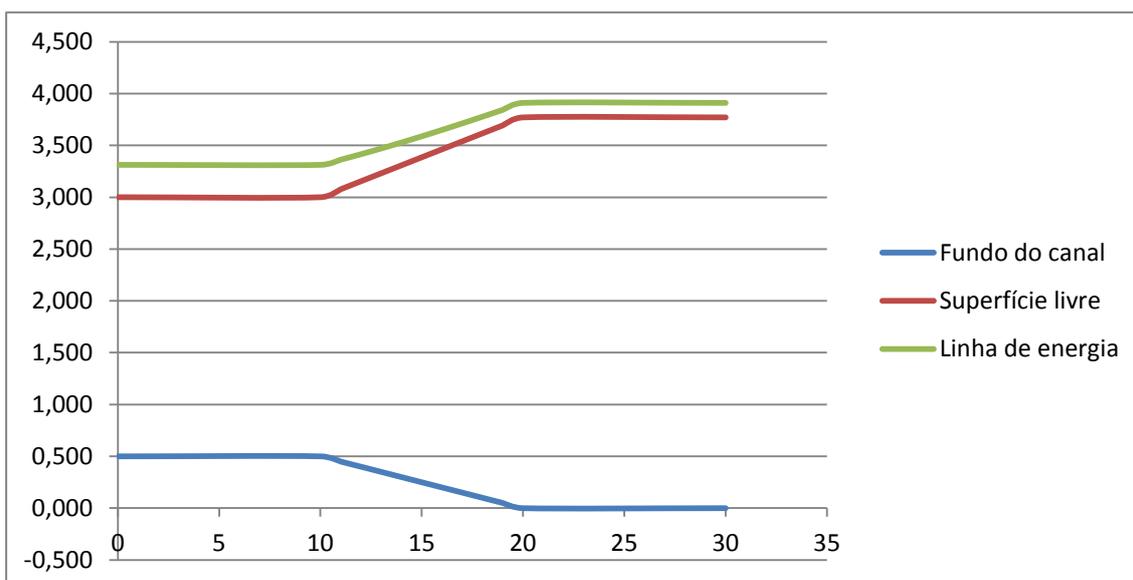
DADOS A MONTANTE	
Q=	50 m ³ /s
Y ₁ =	3 m
b ₁ =	5 m
θ _{esq} =	60 °
θ _{dir} =	60 °

B ₁	8,46 m
A ₁ =	20,20 m ²
v ₁ =	2,48 m/s
E ₁ =	3,31 m
F ₁ =	0,512

DADOS A JUSANTE	
b ₂ =	8 m
ΔZ=	-0,5 m
θ _{esq} =	90 °
θ _{dir} =	90 °

B ₂ =	8 m
A ₂ =	30,16 m ²
v ₂ =	1,66 m/s
E ₂ =	3,91 m
y ₂ =	3,77 m
b _{min} =	3,79 m
F ₂ =	0,273
y _{2c} =	2,61 m
B _{c2} =	3,79 m
A _{c2} =	9,89 m ²

Figura 19 – Perfis do fundo do canal, da superfície livre e da linha de energia.



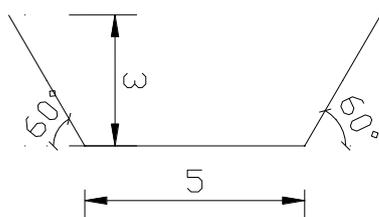
Neste caso há a montante um canal com seção trapezoidal, largura da base de 5m, altura de lâmina d'água de 3m e ângulo das paredes em relação a horizontal de 60°.

A jusante há uma seção retangular com largura da base de 8m. Entre as duas seções existem um declive de 0,5 m do fundo do canal ocorrendo por uma transição gradual.

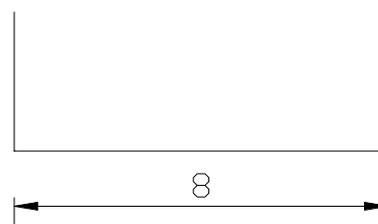
O resultado mostra que não há mudança no regime do escoamento, pois a largura a jusante é maior que a largura mínima exigida para haver permanência de escoamento.

14-Seção Trapezoidal/ retangular – Alargamento e active

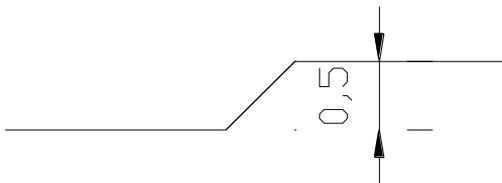
Seção a montante



Seção a jusante



Perfil do fundo do canal



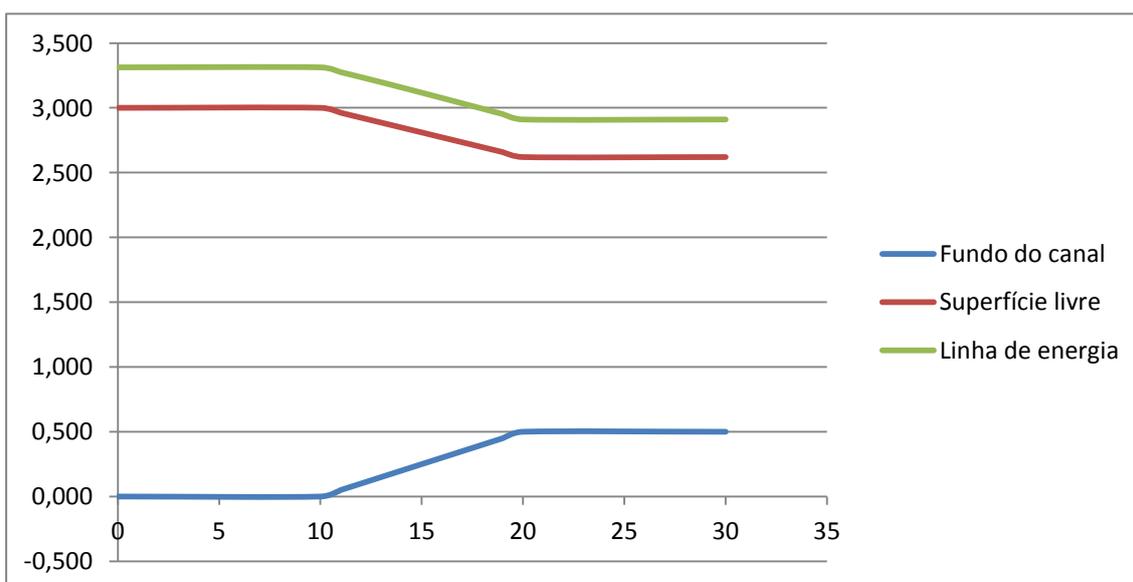
DADOS A MONTANTE	
Q=	50 m ³ /s
Y1=	3 m
b1=	5 m
θesq=	60°
θdir=	60°

B1	8,46 m
A1=	20,20 m ²
v1=	2,48 m/s
E1=	3,31 m
F1=	0,512

DADOS A JUSANTE	
b2=	8 m
ΔZ=	0,5 m
θesq=	90°
θdir=	90°

B2=	8 m
A2=	20,96 m ²
v2=	2,39 m/s
E2=	2,91 m
y2=	2,62 m
bmin=	5,91 m
F2=	0,471
y2c=	1,94 m
Bc2=	5,91 m
Ac2=	11,46 m ²

Figura 20 – Perfis do fundo do canal, da superfície livre e da linha de energia.



Neste caso há a montante um canal com seção trapezoidal, largura da base de 5m, altura de lâmina d'água de 3m e ângulo das paredes em relação a horizontal de 60° .

A jusante há uma seção retangular com largura da base de 8m. Entre as duas seções existem um aclave de 0,5 m do fundo do canal ocorrendo por uma transição gradual.

O resultado mostra que não há mudança no regime do escoamento, pois a largura a jusante é maior que a largura mínima exigida para haver permanência de escoamento.

Quadro 02 – Resumo dos resultados

Resultado	Alargamento	Estreitamento	acive	declive	$b_2 > b_{\min}$	$b_2 < b_{\min}$	Seção a montante	Seção a jusante	Profundidade da lâmina d'água a jusante
01		X		X	X		retangular	retangular	Aumenta
02		X	X		X		retangular	retangular	Diminui
03	X			X	X		retangular	retangular	Aumenta
04	X		X		X		retangular	retangular	Diminui
05		X	X			X	trapezoidal	trapezoidal	Diminui
06		X		X	X		trapezoidal	trapezoidal	Aumenta
07	X		X		X		trapezoidal	trapezoidal	Diminui
08	X			X	X		trapezoidal	trapezoidal	Aumenta
09		X		X	X		trapezoidal	trapezoidal	Aumenta
10		X	X			X	trapezoidal	trapezoidal	Diminui
11		X		X	X		retangular	trapezoidal	Aumenta
12		X	X			X	retangular	trapezoidal	Diminui
13	X			X	X		trapezoidal	retangular	Aumenta
14	X		X		X		trapezoidal	retangular	Diminui

6 CONCLUSÃO

A proposta inicial do trabalho, que era o desenvolvimento de planilhas eletrônicas com o intuito de cálculo de seções em transições em canais foi cumprida. As planilhas são de fácil manuseio e operação, com isso agilizam o trabalho do usuário.

Porém há de se levar em conta que não foi considerada a perda de carga durante a transição e o carregamento de sólidos durante o escoamento, que poderá levar a obstrução da seção e possíveis mudanças de regime.

Assim essas planilhas poderão em trabalhos futuros serem aperfeiçoadas considerando as hipóteses acima citadas e possível integração das duas planilhas em uma só, simplificando ainda mais sua operação.

7 REFERÊNCIAS

DZIEDZIC, M. ; KRÜGER, Cláudio Marchand. Plano de Desenvolvimento de Competências. Módulo 1. Prefeitura Municipal de Curitiba.

<http://filebox.vt.edu/users/moglen/ocf/index.html> acessado em 04/02/2014.

PAIVA, E. C. R. Condutos Livres ou Canais. Universidade Federal de Goiás. Nota de Aula, 2012.

TOMAS, P. Transição em canais. Curso de manejo de águas pluviais. Outubro de 2010.

TUCCI, C., PORTO, R. La L. e BARROS, M. T. de **Drenagem Urbana**. ABRH/UFRGS. Rio Grande do Sul, 1995.

VEN TE CHOW , **Open Chanel Hydraulics**, McGraw-Hill, 1959.