



UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL
ÁREA DO CONHECIMENTO DE CIÊNCIAS EXATAS E ENGENHARIAS
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

GABRIEL ROBERTO SILVESTRI

**AVALIAÇÃO DA VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DE UM SISTEMA DE
DRENAGEM POR TRINCHEIRAS DE DETENÇÃO EM UM LOTEAMENTO
RESIDENCIAL**

CAXIAS DO SUL
2018

UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL
ÁREA DO CONHECIMENTO DE CIÊNCIAS EXATAS E ENGENHARIAS
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

GABRIEL ROBERTO SILVESTRI

**AVALIAÇÃO DA VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DE UM SISTEMA DE
DRENAGEM POR TRINCHEIRAS DE DETENÇÃO EM UM LOTEAMENTO
RESIDENCIAL**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao curso de Engenharia Civil
da Universidade de Caxias do Sul, como
parte dos requisitos para obtenção do título
de Engenheiro Civil.

Orientador: Prof. MSc. Tiago Panizzon

CAXIAS DO SUL

2018

GABRIEL ROBERTO SILVESTRI

**AVALIAÇÃO DA VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DE UM SISTEMA DE
DRENAGEM POR TRINCHEIRAS DE DETENÇÃO EM UM LOTEAMENTO
RESIDENCIAL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Civil da Universidade de Caxias do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheiro Civil.

Aprovado em: ____/____/____

Banca examinadora

Prof. MSc. Tiago Panizzon
Universidade de Caxias do Sul – UCS

Prof. MSc. Taison Anderson Bortolin
Universidade de Caxias do Sul - UCS

Prof. Dr. Juliano Rodrigues Gimenez
Universidade de Caxias do Sul - UCS

RESUMO

No Brasil, atualmente, adotam-se os métodos convencionais de drenagem pluvial, que se baseiam em recolher as águas e transportá-las o mais rápido possível para outro local. Esse sistema de drenagem passa a ser obsoleto na medida que as zonas impermeabilizadas crescem, pois acabam simplesmente transferindo o problema para outra região a jusante do sistema. Por outro lado, surgem os métodos compensatórios de drenagem, que diferentemente dos métodos clássicos, baseiam-se no retardamento do escoamento, atenuando o pico de vazão, distribuindo o volume precipitado em um maior intervalo de tempo, mantendo as características de preocupação da bacia hidrográfica. Entre os diversos métodos compensatórios, adotou-se neste trabalho o método das trincheiras de retenção, sendo dimensionadas através do método das chuvas. Este trabalho estabelece uma análise comparativa entre o método convencional de drenagem e o método de trincheiras de retenção, em termos técnicos e econômicos, sendo aplicados em um loteamento residencial no município de Flores da Cunha. Para isso, foram elaborados dois projetos de drenagem adotando trincheiras de retenção, variando para cada um deles, a máxima vazão de saída. Um projeto é denominado como TR5_POA, que considera uma vazão de saída de pré-desenvolvimento do município de Porto Alegre, e outro é denominado TR5_CONV, que considera como vazão de saída aquela obtida no projeto de drenagem convencional já existente. No projeto TR5_POA estimou-se um custo de implantação de R\$1.683.112,68 e para o projeto TR5_CONV estimou-se um custo de R\$1.232.093,99. De acordo com os resultados, o projeto TR5_POA é capaz de atenuar 91,67% do pico da vazão de pós desenvolvimento do loteamento e o projeto TR5_CONV é capaz de atenuar 42,17% do pico da vazão de pós desenvolvimento do loteamento.

Palavras-chave: drenagem pluvial, métodos compensatórios, trincheiras de retenção.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Efeito da urbanização sobre a vazão máxima	17
Figura 2 - Evolução dos prejuízos com inundação	18
Figura 3 - População e frequência de inundações em Belo Horizonte.....	18
Figura 4 - Estágios do desenvolvimento da drenagem	20
Figura 5 – Componentes do ciclo hidrológico.....	21
Figura 6 - Hidrograma antes/pós urbanização	22
Figura 7 - Impactos da urbanização em uma bacia hidrográfica	23
Figura 8 - Sistema clássico de drenagem pluvial	31
Figura 9 - Boca coletora sob o pavimento com grelha de ferro.....	35
Figura 10 - Poço de visita tipo "C"	36
Figura 11 - Elementos geométricos das seções circulares	41
Figura 12 - Efeito do amortecimento de vazões pelos métodos compensatórios	44
Figura 13 - Integração de trincheiras no meio urbano.....	45
Figura 14 - Trincheira de infiltração típica	49
Figura 15 - Superposição da curva P(D,T) e a curva de evacuação qs.D.....	54
Figura 16 – Configuração A - Seção longitudinal da trincheira.....	55
Figura 17 - Configuração B - Seção longitudinal da trincheira	56
Figura 18 - Configuração C - Seção longitudinal da trincheira	57
Figura 19 - Esquemática do modelo utilizado no método das chuvas.....	58
Figura 20 – Compartimentalização de trincheiras em série	60
Figura 21 - Compartimentalização de trincheiras em paralelo	60
Figura 22 - Divisão de vazão de saída de diferentes compartimentos interligados em série	61
Figura 23 - Configuração de reservatório para estimativa de coeficientes.....	63
Figura 24 - Esboço esquemático do dispositivo usado por Darcy	64
Figura 25 - Divisas políticas do município de Flores da Cunha.....	66
Figura 26 - Localização da área de estudo	68
Figura 27 - Chuva em excesso expõe problemas estruturais	68
Figura 28 - Poder legislativo exige soluções aos casos de alagamentos.....	69
Figura 29 - Projeto do loteamento em estudo	70
Figura 30 - Postos pluviométricos de Caxias do Sul e região	72

Figura 31 - Seção típica do sistema integrado de trincheiras.....	82
Figura 32 - Seção típica do sistema integrado de trincheiras.....	82
Figura 33 - Área de lazer implantada sobre trincheira de detenção	83
Figura 34 - Relação entre a vazão escoada e a capacidade de infiltração do pavimento	112
Figura 35 - Custo de implantação do projeto TR5_POA	114
Figura 36 - Relação percentual de custo dos serviços no projeto TR5_POA.....	114
Figura 37 - Custo de implantação do projeto TR5_CONV	115
Figura 38 - Relação percentual de custo dos serviços no projeto TR5_CONV	116
Figura 39 - Custo de implantação do sistema convencional de drenagem	117
Figura 40 - Relação percentual de custo dos serviços do sistema convencional....	118
Figura 41 - Impactos financeiros relacionados a redução da área comercializável.	119
Figura 42 - Relação entre volume de armazenamento e vazões	121
Figura 43 - Relação entre custo de implantação e vazões de saída	122
Figura 44 - Custo total de implantação dos sistemas avaliados.....	123

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Tempo de retorno para projetos de microdrenagem	27
Tabela 2 - Valores de C de acordo com superfícies de revestimento	28
Tabela 3 - Coeficientes de escoamento para superfícies urbanas	28
Tabela 4 - Tempo de concentração para áreas urbanizadas	31
Tabela 5 - Coeficientes Ck da equação de Kerby	32
Tabela 6 - Coeficientes de rugosidade de Manning para escoamento superficial.....	33
Tabela 7 - Fatores de redução da capacidade de bocas-coletoras	35
Tabela 8 - Coeficientes de rugosidade de galerias com seções circulares	38
Tabela 9 - Relações para fator hidráulico de seções circulares	40
Tabela 10 - Porosidade efetiva de materiais de enchimento.....	46
Tabela 11 - Hipóteses de cálculo para considerar a colmatação	51
Tabela 12 - Ordem de grandeza da condutividade hidráulica em diferentes solos ...	51
Tabela 13 - Coeficientes de condutividade hidráulica K.....	65
Tabela 14 - Índices urbanísticos.....	67
Tabela 15 - Classificação das áreas parceladas	69
Tabela 16 - Equações IDF de Caxias do Sul e região.....	71
Tabela 17 - Coeficientes de escoamento adotados	74
Tabela 18 – Coeficientes de escoamento e áreas de contribuição	84
Tabela 19 - Comprimento e declividade das trincheiras.....	85
Tabela 20 - Quantidade e comprimento dos compartimentos e suas áreas de contribuição	87
Tabela 21 – Vazão total de saída e vazão específica de saída	88
Tabela 22 – Volume de armazenamento solicitado por compartimento	90
Tabela 23 - Volume de armazenamento admissível calculado por compartimento...	92
Tabela 24 - Tempo de esvaziamento e de funcionamento das estruturas	94
Tabela 25 - Orifícios reguladores de vazão.....	95
Tabela 26 - Resultados do dimensionamento da rede de tubulação.....	96
Tabela 27 - Comprimentos totais da tubulação adotada	99
Tabela 28 - Quantidade e comprimento dos compartimentos e suas áreas de contribuição	100
Tabela 29 - Vazão total de saída e vazão específica de saída	101

Tabela 30 - Volume de armazenamento solicitado por compartimento.....	102
Tabela 31 - Volume de armazenamento admissível calculado por compartimento.	104
Tabela 32 - Tempo de esvaziamento e de funcionamento das estruturas	106
Tabela 33 - Orifícios reguladores de vazão.....	107
Tabela 34 - Resultados do dimensionamento da rede de tubulação.....	108
Tabela 35 - Comprimentos totais da tubulação adotada	111
Tabela 36 - Dados do preço de venda dos lotes e largura de perfis do sistema viário	119

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	DIRETRIZES DE PESQUISA.....	13
2.1	TEMA DA PESQUISA	13
2.2	QUESTÃO DE PESQUISA.....	13
2.3	OBJETIVOS	13
2.3.1	Objetivo principal	13
2.3.2	Objetivos específicos.....	13
2.4	HIPÓTESE	14
2.5	PRESSUPOSTOS.....	14
2.6	DELIMITAÇÕES.....	14
2.7	LIMITAÇÕES.....	14
3	REFERENCIAL TEÓRICO.....	16
3.1	IMPACTOS DA URBANIZAÇÃO NA DRENAGEM PLUVIAL URBANA.....	16
3.2	IMPACTOS DA URBANIZAÇÃO NOS PROCESSOS HIDROLÓGICOS...20	
3.3	CONTROLE DE ALAGAMENTOS	24
3.4	MÉTODOS DE ESTIMATIVAS DE VAZÕES	26
3.4.1	Método racional	26
3.4.2	Método racional modificado com critério de Fantolli.....	29
3.5	SISTEMAS CLÁSSICOS DE DRENAGEM	30
3.5.1	Tempo de concentração inicial	31
3.5.2	Bocas-coletoras.....	33
3.5.3	Poços de visita	35
3.5.4	Galerias pluviais	37
3.5.4.1	Diâmetro de galerias circulares	37
3.5.4.2	Velocidade de escoamento	38
3.5.4.3	Relação de enchimento y/D.....	40
3.5.4.4	Tempo de concentração	41
3.5.5	Limitações do sistema clássico de drenagem.....	42
3.6	SISTEMAS COMPENSATÓRIOS DE DRENAGEM.....	43
3.7	TRINCHEIRAS DE INFILTRAÇÃO E DETENÇÃO	44
3.7.1	Interior das trincheiras.....	45

3.7.2	Vazão de saída.....	46
3.7.2.1	Cálculo da vazão de saída em trincheiras de detenção	46
3.7.2.2	Cálculo da vazão de saída em trincheiras de infiltração.....	48
3.7.3	Método de dimensionamento	51
3.7.3.1	Estimativa do volume a armazenar	53
3.7.3.2	Dimensionamento da estrutura de armazenamento.....	55
3.7.3.3	Estimativa do tempo de funcionamento e de esvaziamento.....	57
3.7.3.4	Compartimentalização das trincheiras.....	59
3.7.3.5	Dispositivos de descarga.....	61
3.8	PERMEABILIDADE DA ÁGUA EM MEIOS POROSOS	63
4	METODOLOGIA DE PESQUISA	66
4.1	CARACTERÍSTICAS DA ÁREA DE ESTUDO	66
4.1.1	Aspectos legais	67
4.1.2	Localização do empreendimento	67
4.1.3	Problemática de alagamentos na região	68
4.1.4	Caracterização do projeto do empreendimento	69
4.1.5	Clima e bioma	70
4.1.5.1	Curvas IDF da região	70
4.1.6	Características do solo	72
4.2	DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE TRINCHEIRAS.....	72
4.3	DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE TRINCHEIRAS.....	73
4.3.1	Lançamento das trincheiras de detenção	73
4.3.2	Coeficiente de escoamento superficial	74
4.3.3	Dimensionamento das trincheiras de detenção	74
4.3.3.1	Determinação da restrição da vazão de saída	75
4.3.3.1.1	<i>Projeto TR5_POA.....</i>	75
4.3.3.1.2	<i>Projeto TR5_CONV.....</i>	75
4.3.3.2	Cálculo da vazão específica de saída	76
4.3.3.3	Cálculo da altura específica a ser armazenada.....	76
4.3.3.4	Cálculo do volume de armazenamento solicitado	76
4.3.3.5	Cálculo do volume máximo admissível.....	77
4.3.3.6	Compartimentalização das trincheiras.....	77
4.3.3.7	Cálculo do tempo de funcionamento da estrutura	77

4.3.3.8	Cálculo do tempo de esvaziamento.....	78
4.3.3.9	Dimensionamento dos dispositivos de descarga.....	78
4.3.3.9.1	<i>Dimensionamento do diâmetro da tubulação</i>	78
4.3.3.9.2	<i>Dimensionamento dos orifícios</i>	79
4.3.3.10	Avaliação da capacidade de permeabilidade da superfície.....	79
4.4	LEVANTAMENTO DOS CUSTOS DE IMPLANTAÇÃO.....	80
5	RESULTADOS	81
5.1	DESCRIÇÃO GERAL DO SISTEMA DE TRINCHEIRAS.....	81
5.2	DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE TRINCHEIRAS.....	83
5.2.1	Parâmetros gerais de dimensionamento	84
5.2.2	Projeto TR5_POA	86
5.2.2.1	Compartimentalização das trincheiras.....	86
5.2.2.2	Dimensionamento das trincheiras.....	88
5.2.2.3	Rede de tubulações e orifícios reguladores de vazão.....	95
5.2.2.3.1	<i>Orifícios reguladores de vazão</i>	95
5.2.2.3.2	<i>Rede de tubulações</i>	96
5.2.3	Projeto TR5_CONV	99
5.2.3.1	Compartimentalização das trincheiras.....	99
5.2.3.2	Dimensionamento das trincheiras.....	101
5.2.3.3	Rede de tubulações e orifícios reguladores de vazão.....	107
5.2.3.3.1	<i>Orifícios reguladores de vazão</i>	107
5.2.3.3.2	<i>Rede de tubulações</i>	108
5.3	VERIFICAÇÃO DA PERMEABILIDADE DA PAVIMENTAÇÃO.....	111
5.4	ESTIMATIVA DOS CUSTOS DE IMPLANTAÇÃO.....	113
5.4.1	Projeto TR5_POA	113
5.4.2	Projeto TR5_CONV	115
5.4.3	Sistema convencional	116
5.4.4	Impactos financeiros da redução de área comercializável	118
5.5	ANÁLISE COMPARATIVA DOS SISTEMAS.....	120
5.6	SITUAÇÕES POTENCIAIS IDENTIFICADAS PARA O USO DE TRINCHEIRAS.....	123
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	125
7	REFERÊNCIAS	126

8	APÊNDICE 1	130
9	ANEXOS	131

1 INTRODUÇÃO

O aumento populacional das grandes cidades brasileiras ocasiona o intenso processo de urbanização das áreas ocupadas. A urbanização implica na instalação de diversas obras de infraestruturas, as quais contemplam a abertura e pavimentação de ruas, instalação das redes de coleta de esgoto sanitário e pluvial, distribuição de água, distribuição de energia elétrica, entre outros dispositivos.

Entretanto, a urbanização afeta negativamente as questões do ciclo hidrológico das bacias hidrográficas. Os efeitos ocorrem, em grande parte, devido ao significativo aumento das superfícies impermeabilizadas ao longo da bacia, pois parte das chuvas que, em condições naturais, infiltrava no solo, abastecendo as águas subterrâneas, agora faz parte do escoamento superficial, resultando no aumento da frequência das enchentes urbanas e na deterioração das águas pluviais.

Os sistemas de drenagem pluvial implantados atualmente no Brasil, baseados no conceito higienista de evacuação imediata das águas, tem se mostrado pouco flexíveis e adaptáveis, revelando-se onerosos e de rápida obsolescência. As cheias captadas pelo sistema de drenagem são transferidas a jusante da rede, de modo conseqüente, a probabilidade de inundação da área a jusante eleva-se consideravelmente. Dessa forma, os métodos clássicos de drenagem, que são utilizados desde os princípios das aglomerações urbanas, começam a ser questionados.

Devido às limitações dos sistemas convencionais, surgem novas soluções para a drenagem pluvial, diferenciando-se dos conceitos aplicados atualmente. Os chamados métodos compensatórios de drenagem urbana, ou medidas de controle de escoamento na fonte, atuam no retardamento do escoamento superficial, atenuando as vazões de pico e possibilitando a infiltração da água no solo. Esses novos conceitos objetivam reestabelecer a vazão de pré-ocupação, fazendo com que a água das chuvas volte a ser interceptada, antes de atingir a rede de macrodrenagem.

O presente trabalho tem como finalidade elaborar dois projetos de drenagem compensatória, adotando trincheiras de retenção, variando para cada um deles, a máxima vazão de saída. Em seguida, será formada uma análise comparativa entre o sistema compensatório e o sistema convencional existente, relacionando termos técnicos e financeiros, afim de constatar qual método seria o mais adequado ao caso em estudo.

2 DIRETRIZES DE PESQUISA

2.1 TEMA DA PESQUISA

Drenagem pluvial em loteamentos residenciais.

2.2 QUESTÃO DE PESQUISA

As técnicas compensatórias de drenagem pluvial compensam o custo de implantação do sistema, sendo tecnicamente viáveis quando comparadas aos sistemas convencionais de drenagem?

2.3 OBJETIVOS

2.3.1 Objetivo principal

O objetivo principal deste trabalho é elaborar dois projetos de drenagem compensatória em um loteamento residencial, adotando trincheiras de retenção, variando para cada um deles, a máxima vazão de saída, e comparar seus resultados com um projeto de drenagem convencional já existente.

2.3.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos deste trabalho são:

- a) dimensionar um sistema de trincheiras de retenção, limitando a vazão de saída à uma vazão de pré-desenvolvimento da área;
- b) dimensionar um sistema de trincheiras de retenção, limitando a vazão de saída a uma vazão idêntica à vazão de saída apresentada na planilha de cálculo do sistema convencional de drenagem, no qual é fornecida pela empresa responsável do loteamento;
- c) analisar as diferenças de pico de vazão a jusante do loteamento entre o sistema de trincheiras de retenção limitada à vazão de pré-desenvolvimento e o método convencional de drenagem;
- d) analisar a viabilidade técnica da aplicação de trincheiras de retenção;

- e) analisar o custo de implantação para cada um dos métodos;
- f) constatar as vantagens e desvantagens de cada um dos métodos.

2.4 HIPÓTESE

Como hipóteses desse trabalho admite-se que os custos de implantação das trincheiras de retenção serão maiores que do sistema convencional, porém, ao adotar as trincheiras de retenção os picos de vazões das águas pluviais serão menores, proporcionando a redução da vazão das águas pluviais a jusante do empreendimento e gerando vantagens ambientais como a recarga do lençol freático e redução do pico de cheia dos cursos d'água.

2.5 PRESSUPOSTOS

A prática dos sistemas convencionais de drenagem pluvial tem se mostrado insustentável, pois foram planejados centrados na lógica do rápido escoamento da água precipitada agindo apenas no sentido de transferir o impacto para jusante. O lançamento das enxurradas também pode causar poluição dos rios locais e, devido à falta de infiltração natural no solo, os lençóis subterrâneos não recebem a recarga adequada.

2.6 DELIMITAÇÕES

O presente trabalho delimita-se a analisar o desempenho e custo financeiro da aplicação de trincheiras de retenção em sistemas de drenagem pluvial em um loteamento residencial no município de Flores da Cunha.

2.7 LIMITAÇÕES

Nesse trabalho serão admitidas as seguintes limitações:

- a) limita-se a estudar o caso de um único loteamento residencial na cidade de Flores da Cunha (RS);
- b) limita-se a desenvolver apenas os projetos de drenagem pluvial, não incluindo as redes de esgoto sanitário e de abastecimento de água;

- c) para o dimensionamento das estruturas de drenagem, não é levado em consideração a contribuição de áreas externas ao empreendimento;
- d) limita-se simplesmente ao embasamento teórico dos projetos, não entrando em méritos práticos e pesquisas de campo;
- e) no projeto compensatório de drenagem serão adotadas apenas as trincheiras de retenção.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

As cidades sempre tiveram uma grande ligação com os cursos d'água ao longo de toda nossa história. Dessa forma, desde as primeiras aglomerações urbanas percebe-se sua localização próxima aos cursos d'água, pois a disponibilidade de água beneficiava a população, possibilitando o seu suprimento e higiene. A água constituía em um importante insumo para atividades agrícolas e artesanais, e também favorecia as comunicações, comércio e transporte. Em compensação, a proximidade das cidades aos cursos d'água trazia frequentes casos de inundações que chegavam as populações ribeirinhas (BAPTISTA; NASCIMENTO; BARRAUD, 2015).

Ainda de acordo com Baptista, Nascimento e Barraud (2015), a partir do século XIX, devido ao aumento das aglomerações urbanas, houveram sérios problemas resultantes da precária infraestrutura do controle da presença de águas nas cidades, e como consequência, a Europa foi atingida por grandes epidemias de cólera e tifo. A partir disso, ocorreu uma transformação radical de entendimento das relações entre o meio urbano e a presença de águas dentro das cidades, surgindo os preceitos higienistas, que recomenda a evacuação rápida das águas pluviais e servidas, por meio da utilização de tubulações subterrâneas, funcionando por gravidade.

Ainda segundo os autores, tais preceitos continuam a vigorar até hoje, ainda que modificados por aportes tecnológicos, como análise de risco ou a adoção do sistema separador absoluto entre o esgoto pluvial e o esgoto cloacal.

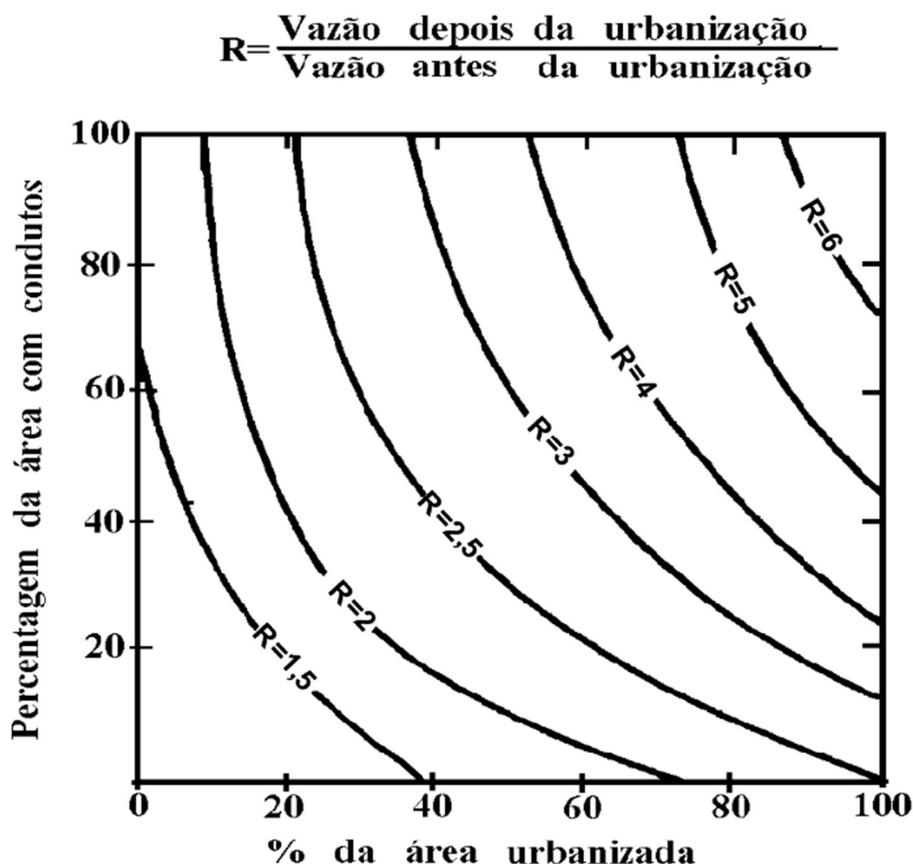
3.1 IMPACTOS DA URBANIZAÇÃO NA DRENAGEM PLUVIAL URBANA

Tucci (2005) afirma que a partir da segunda metade do século XX ocorreu uma aceleração do desenvolvimento urbano, concentrando grande parte da população em pequenos espaços, e de modo consequente, acabou atingindo os ecossistemas terrestre e aquático e a própria população com inundações.

De acordo com Porto, et al. (2009), a urbanização implica diretamente na drenagem urbana gerando alterações do escoamento superficial direto. Essas alterações podem ser extremamente significativas como mostra a Figura 1 que relaciona o crescimento das vazões máximas de cheia, com a área urbanizada da bacia e a área servida por obras de drenagem. Nos casos extremos, pode-se verificar

que o pico da cheia numa bacia urbanizada chega a ser 6 vezes maior do que o pico desta mesma bacia em condições naturais.

Figura 1 - Efeito da urbanização sobre a vazão máxima



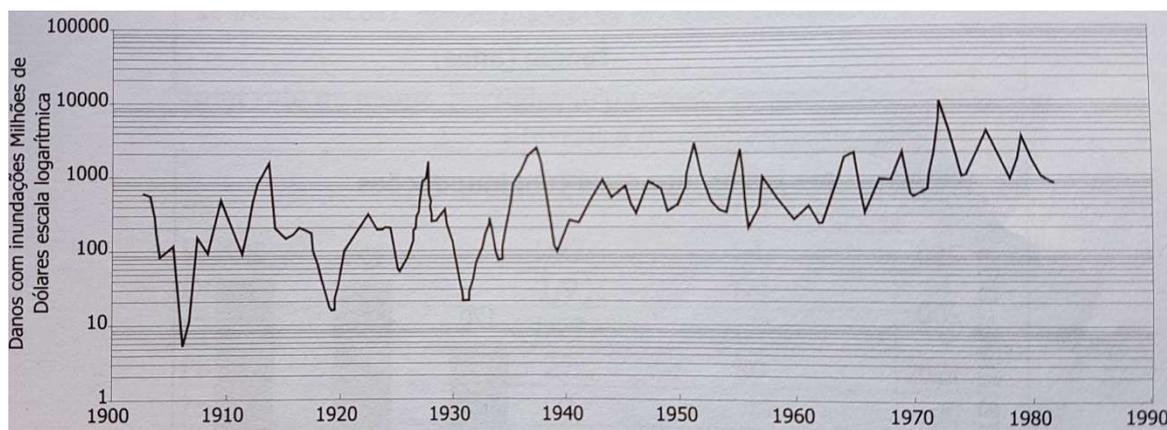
Fonte: Adaptado de Leopold (1965, Apud BAPTISTA; NASCIMENTO; BARRAUD, 2015)

A ocupação do espaço urbano, sem o adequado planejamento das cidades, desencadeou o aparecimento de problemas de drenagem por conta das precipitações de alta intensidade. Primeiramente, as regiões mais afetadas se encontravam próximas aos cursos de água, em locais de ocupação da calha secundária e nos trechos de jusante em relação à utilização das áreas ribeirinhas. Com a ampliação territorial, sem uma legislação e fiscalização que garantissem o adequado uso e ocupação do solo, os problemas de inundações e alagamentos foram se tornando mais intensos e se alastrando ao longo das linhas naturais de escoamento dos deflúvios superficiais em função do grau de impermeabilização e da topografia das cidades (RIGHETTO; MOREIRA; SALES, 2009).

De acordo com Tucci (2009), a população de baixa renda tende a ocupar as áreas de risco de inundação, e quando a frequência das inundações é baixa, a população ganha confiança e despreza o risco, intensificando o investimento e a

densificação nas áreas inundáveis, onde geralmente a enchente toma propriedades desastrosas. Na Figura 2 é apresentada a curva de custo anual devido a prejuízos das enchentes nos Estados Unidos. Pode-se observar neste gráfico uma tendência ao crescimento de danos.

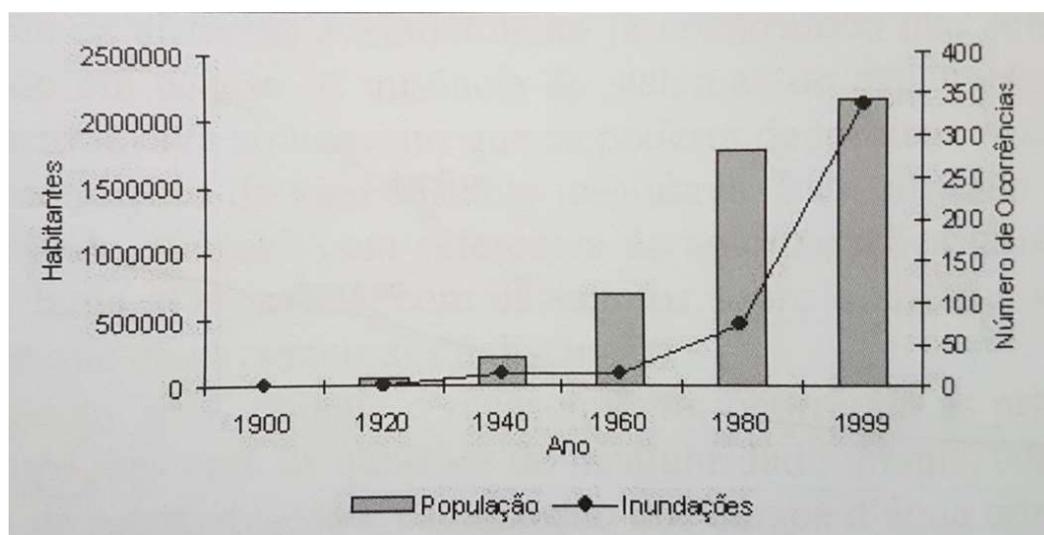
Figura 2 - Evolução dos prejuízos com inundação



Fonte: Hudlow et al. (1984 apud BAPTISTA, NASCIMENTO e BARRAUD, 2015)

A Figura 3 ilustra a evolução do crescimento populacional e da frequência de inundações na cidade de Belo Horizonte. Pode-se observar a clara relação entre os dois aspectos, podendo associar o acréscimo na ocorrência dos eventos tanto ao aumento das vazões de cheia quanto ao crescimento das populações expostas ao risco.

Figura 3 - População e frequência de inundações em Belo Horizonte



Fonte: Lima-Queiroz et al. (2003, Apud BAPTISTA, NASCIMENTO e BARRAUD, 2015)

De acordo com Ohuma Jr. (2008), a impermeabilização do solo provoca um aumento da parcela do volume de chuva que é convertido em escoamento superficial.

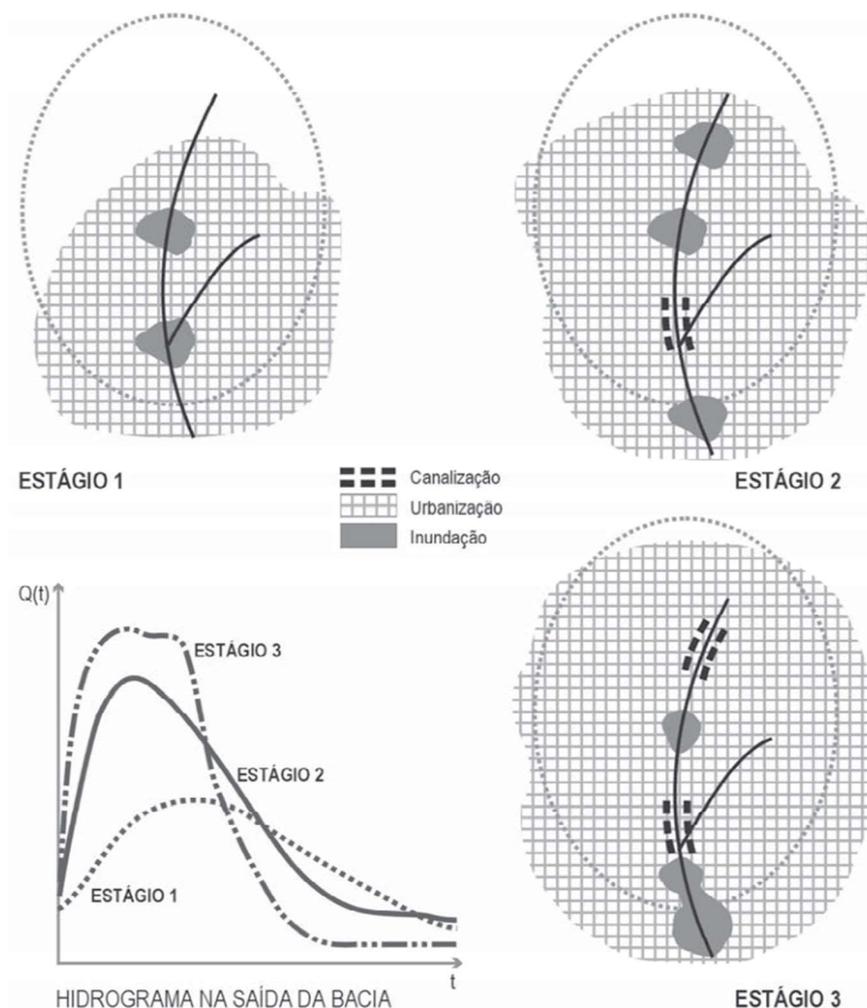
O volume que escoava lentamente pela superfície do solo e ficava retido pelas plantas, com a urbanização, passa a escoar no canal, exigindo maior capacidade de escoamento das seções (TUCCI, 2005).

Conforme Tucci e Mendes (2006), o escoamento superficial pode produzir inundações e impactos nas áreas urbanas devido a dois processos, que ocorrem isoladamente ou combinados: as inundações naturais de áreas ribeirinhas que ocorrem no leito maior dos rios, e as inundações que ocorrem na drenagem urbana devido ao efeito da impermeabilização do solo, canalização ou obstruções do escoamento.

Tucci (2005) descreve os estágios do desenvolvimento da drenagem que se sucedem quando o processo de urbanização age em conjunto com estes sistemas, a Figura 4 ilustra os respectivos estágios:

- a) estágio 1: a bacia começa a ser urbanizada de forma distribuída, com maior densificação a jusante, surgindo locais de inundações devido a estreitamentos naturais ao longo do seu curso e ao efeito de urbanização de montante.
- b) estágio 2: as primeiras canalizações são executadas a jusante, com base na urbanização atual, com isso, aumenta o hidrograma a jusante do trecho canalizado;
- c) estágio 3: com a expansão da urbanização para montante, juntamente com a canalização, o aumento das vazões máximas e dos volumes se torna significativo, retornando as inundações nos trechos anteriormente canalizados, e reiniciando uma nova rodada de aumento de seções. Já não existem espaços laterais para ampliar os canais a jusante, e as soluções convergem para o aprofundamento do canal, com custos extremamente altos.

Figura 4 - Estágios do desenvolvimento da drenagem



Os ciclos hidrológicos das bacias hidrográficas são afetados diretamente conforme o meio urbano se desenvolve, o próximo item buscará demonstrar a relação entre a urbanização e os processos hidrológicos.

3.2 IMPACTOS DA URBANIZAÇÃO NOS PROCESSOS HIDROLÓGICOS

O ciclo hidrológico é o fenômeno global de circulação fechada da água, entre a superfície terrestre e a atmosfera, impulsionado fundamentalmente pela energia solar associada à gravidade e à rotação terrestre (SILVEIRA, A. L. L., 2009).

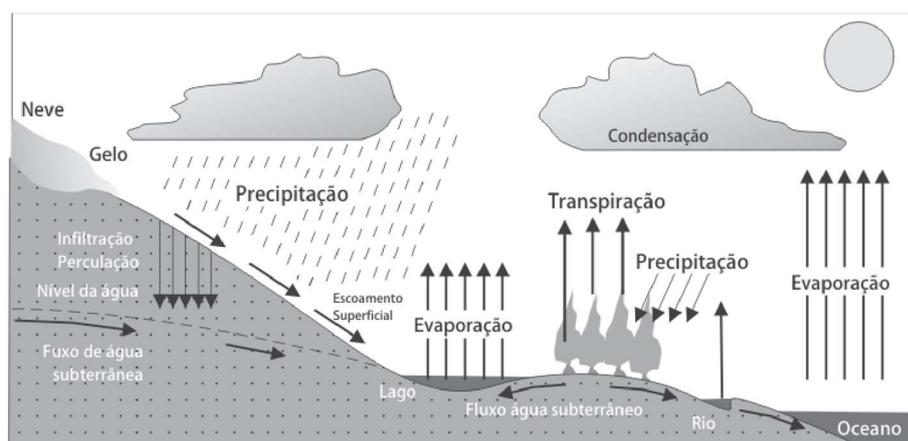
Silveira (2009) afirma que a bacia hidrográfica é uma área de captação natural da água da precipitação que faz convergir os escoamentos para um único ponto de saída, seu exutório. Ela compõe-se de um conjunto de superfícies vertentes e de uma

rede de drenagem formada por cursos de água que confluem até resultar um leito único de drenagem.

Ainda conforme Silveira (2009) a bacia hidrográfica pode ser considerada um sistema físico onde a entrada é o volume de água precipitado e a saída é o volume de água escoado pelo exutório. Nesse processo, ocorrem perdas intermediárias ocasionados pela evaporação, transpiração e infiltração.

Conforme Tucci e Mendes (2006), os processos hidrológicos na bacia hidrográfica possuem duas direções dominantes de fluxo na bacia, o vertical que é constituído pelos processos de precipitação, evapotranspiração, umidade e fluxo no solo e o longitudinal que é representado pelo escoamento superficial, escoamento subterrâneo e rios. Na Figura 5 mostra uma ilustração do ciclo hidrológico.

Figura 5 – Componentes do ciclo hidrológico



Fonte: Tucci e Mendes (2006)

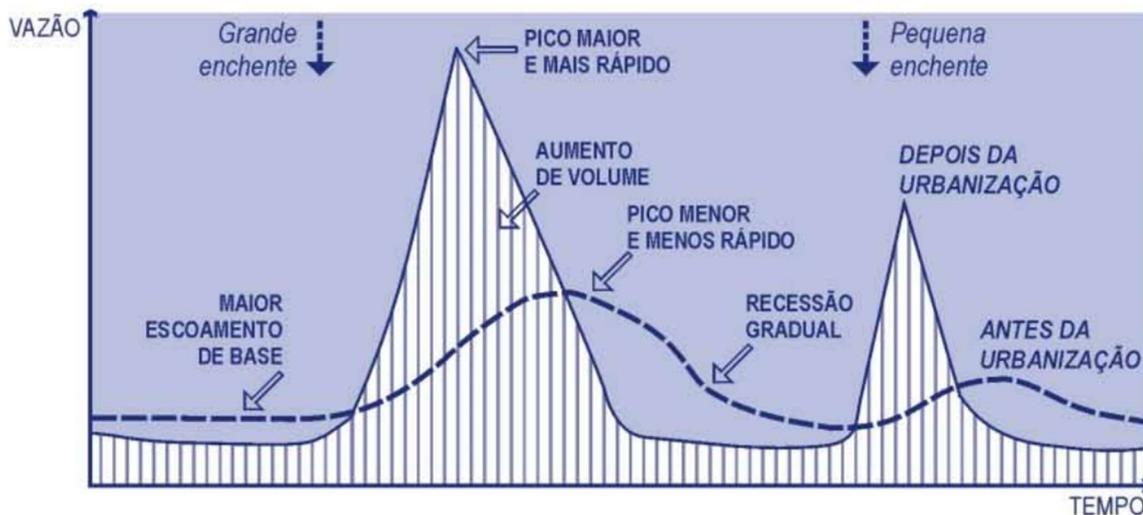
A urbanização provoca consideráveis alterações nos processos hidrológicos através da ação direta nos cursos d'água e nas superfícies das bacias hidrográficas. Devido ao acréscimo de regiões impermeabilizadas, pode-se observar a diminuição da interceptação, do armazenamento superficial e da infiltração, resultando no aumento dos volumes de escoamento superficial. Além do mais, a maior eficiência de escoamento dos condutos de drenagem acarreta no aumento da velocidade de escoamento e, portanto, a intensidade dos picos de cheia (BAPTISTA; NASCIMENTO; BARRAUD, 2015).

De acordo com Tucci (2005), os componentes do ciclo hidrológico natural são alterados devido ao desenvolvimento urbano, que acarretam na modificação da

cobertura vegetal. Com a urbanização são introduzidas as seguintes alterações no ciclo hidrológico:

- redução da infiltração no solo;
- aumento do escoamento superficial, pois o volume que deixa de infiltrar fica na superfície. Além do mais, devido a construção de condutos pluviais para o escoamento superficial, tornando-o mais rápido, ocorre redução do tempo de deslocamento. Desta forma as vazões máximas também aumentam, antecipando seus picos no tempo. A Figura 6 ilustra esse processo;
- redução da infiltração, o aquífero tende a diminuir o nível do lençol freático por falta de alimentação, sobretudo quando a área urbana é muito extensa, diminuindo o escoamento subterrâneo;
- redução da evapotranspiração, que ocorre devido à substituição da cobertura natural.

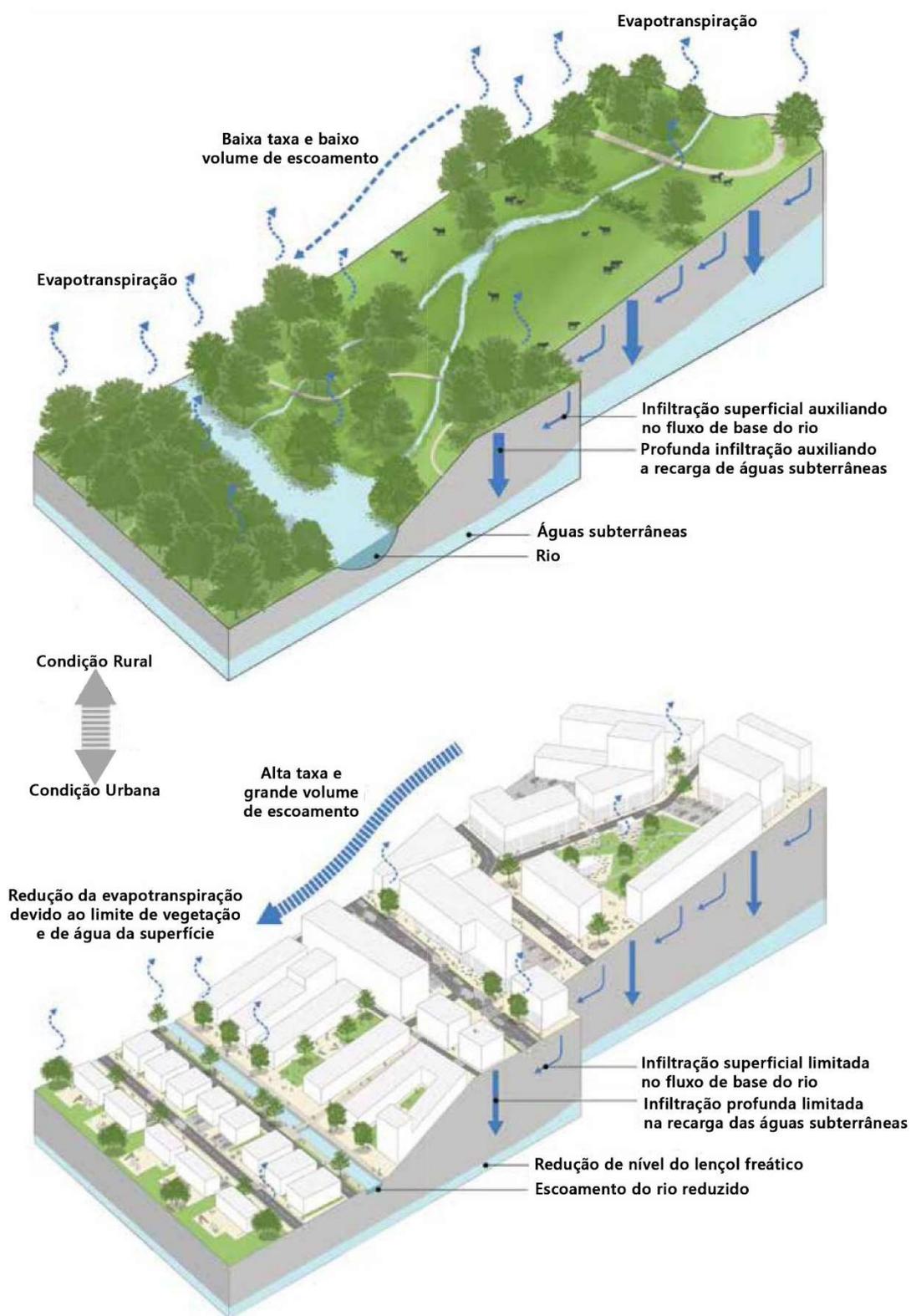
Figura 6 - Hidrograma antes/pós urbanização



Fonte: SUDERHSA (2002)

A Figura 7 ilustra os impactos da urbanização sobre o ciclo hidrológico de uma determinada bacia hidrográfica.

Figura 7 - Impactos da urbanização em uma bacia hidrográfica



Fonte: Adaptado de Ballard, et al. (2015)

3.3 CONTROLE DE ALAGAMENTOS

Atualmente, a drenagem pluvial é projetada para transportar para jusante rapidamente todo o escoamento superficial em excesso gerado pela impermeabilização. Desta forma, à medida que se avança para jusante o escoamento recebe contribuições, acarretando sucessivos aumentos de volume, resultando em acréscimos significativos na vazão máxima. O controle de alagamentos tem sido realizado no sentido de canalizar o escoamento nos trechos de baixa capacidade de escoamento, agravando ainda mais o problema a jusante (CRUZ; TUCCI; SILVEIRA, 1998).

Conforme Tucci e Genz (1995) apud Agra (2001), o controle de alagamentos é um processo permanente, que deve ser mantido pelas comunidades, visando a redução do custo social e econômico dos impactos da urbanização. De acordo com a Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental - SUDERHSA (2002), as medidas de controle não devem constituir-se em soluções isoladas do contexto urbano e do saneamento pluvial global.

Segundo Tucci (2009), as medidas para o controle da alagamentos podem ser classificadas em dois tipos:

- a) medidas estruturais: são obras implementadas para reduzir o risco de alagamentos, essas medidas podem ser extensivas, onde agem diretamente na bacia procurando modificar as relações entre precipitação e vazão, ou podem ser intensivas, que são aquelas que agem diretamente nos cursos d'água, retardando, desviando ou acelerando o escoamento, aumentando a capacidade de descarga do curso d'água.
- b) medidas não estruturais: são medidas de caráter legal e institucional e que procuram disciplinar a urbanização de tal forma a minimizar os seus efeitos no regime hídrico das bacias. Estas procuram, sem alterar a morfologia, reduzir os impactos com a aplicação de medidas e princípios que visam reduzir o risco hidrológico e a interferência causada por ações do ser humano.

Conforme Prefeitura de Porto Alegre (2005a), as medidas de controle para as redes de drenagem urbana devem possuir dois objetivos básicos, o controle do aumento da vazão máxima e a melhoria das condições ambientais.

A Prefeitura de Porto Alegre (2005a) classifica as medidas de controle do escoamento de acordo com sua ação na bacia hidrográfica em:

- a) drenagem na fonte: é o conjunto de medidas com intuito de alterar a geração do volume a ser escoado. É definida pelo escoamento que ocorre no lote, condomínio, empreendimento individualizado, estacionamentos, área comercial, parques e passeios.
- b) microdrenagem: é definida pelo sistema de condutos pluviais ou canais em um loteamento ou de rede primária urbana. É o controle que age sobre o hidrograma resultante de um parcelamento ou mesmo mais de um parcelamento, em função da área;
- c) macrodrenagem: envolve os sistemas coletores de diferentes sistemas de microdrenagem. Quando é mencionado o sistema de macrodrenagem, as áreas envolvidas são de pelo menos 200 hectares.

Conforme Tucci (2005), as medidas de controle podem também ser organizadas de acordo com a sua ação sobre o hidrograma, em:

- a) infiltração e percolação: é um tipo de solução que encaminha o escoamento para áreas de infiltração e percolação no solo, utilizando a permeabilidade do solo e o fluxo subterrâneo para reduzir o escoamento superficial;
- b) armazenamento: é um tipo de solução que age por meio de reservatórios que podem ocupar espaços abertos ou fechados. Sua utilização implica na retenção de parte do volume do escoamento superficial, reduzindo o seu pico e distribuindo a vazão no tempo;
- c) aumento da eficiência do escoamento: age através de condutos e canais, drenando áreas inundadas. Esse tipo de solução tende a transferir enchentes de uma área para outra, mas pode ser benéfico quando utilizado em conjunto com reservatórios de detenção;
- d) diques e estações de bombeamento: é a solução tradicional de controle localizado de enchentes em áreas urbanas que não possuam espaço para amortecimento da inundação.

3.4 MÉTODOS DE ESTIMATIVAS DE VAZÕES

Os métodos mais comuns e usuais para calcular vazões máximas a partir da transformação de chuva em vazão são o método racional e os baseados no hidrograma unitário. Em pequenas bacias, com chuvas de curta duração, poderá ser adotado o método racional. Já em bacias maiores, com chuvas mais demoradas, ou em casos em que se deseja, além da vazão máxima, o volume das cheias, é necessário utilizar modelos baseados no hidrograma unitário (SANTOS, 2010).

De acordo com a Prefeitura de Porto Alegre (2005a) e SUDERSHA (2002), para estimar as vazões dos projetos de microdrenagem deve-se adotar o Método Racional.

Conforme a Prefeitura do Rio de Janeiro (2010), as estimativas de vazões de projeto devem ser realizadas com o Método Racional Modificado com critério de Fantolli.

3.4.1 Método racional

O método racional é largamente utilizado na determinação da vazão máxima de projeto para bacias pequenas. Para o dimensionamento de redes, utilizando o método racional, adota-se como limite uma área de até 2km² (PREFEITURA DE PORTO ALEGRE, 2005a).

Os princípios básicos do Método Racional são:

- a) a duração da precipitação máxima de projeto é igual ao tempo de concentração da bacia. Admite-se que a bacia é pequena para que essa condição aconteça, pois a duração é inversamente proporcional à intensidade;
- b) adota um coeficiente único de perdas, denominado C, estimado com base nas características da bacia;
- c) não avalia o volume da cheia e a distribuição temporal das vazões, portanto não pode ser utilizado para o dimensionamento de reservatórios de amortecimento.

O modelo é apresentado na equação (1).

$$Q = 0,278 \times C \times i \times A \quad (1)$$

onde:

Q: vazão máxima [m³/s];

C: coeficiente de escoamento [adimensional];

i: intensidade da precipitação [mm/h];

A: área da bacia [km²].

Conforme Prefeitura de Porto Alegre (2005a), a intensidade da precipitação depende dos seguintes fatores:

- a) equação IDF característica de cada região de estudo;
- b) tempo de concentração da bacia: é necessário para calcular a intensidade da precipitação, já que o mesmo é considerado igual à duração da precipitação máxima;
- c) tempo de retorno: na microdrenagem o tempo de retorno varia de dois a dez anos. A Tabela 1 apresenta os valores do tempo de retorno para projetos de microdrenagem.

Tabela 1 - Tempo de retorno para projetos de microdrenagem

Característica	TR (anos)	Valor frequente (anos)
Residencial	2 - 5	2
Comercial	2 - 5	5
Áreas de prédios públicos	2 - 5	5
Aeroporto	5 - 10	5
Áreas comerciais e Avenidas	5 - 10	10

Fonte: Prefeitura de Porto Alegre (2005a)

Os coeficientes de escoamento (C) adotados pela Prefeitura de Porto Alegre (2005a) no Método Racional estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Valores de C de acordo com superfícies de revestimento

Superfície	C
Pavimento:	
Asfalto	0,70 – 0,95
Concreto	0,80 – 0,95
Calçadas	0,75 – 0,85
Telhado	0,75 – 0,95
Cobertura: grama/areia	
Plano (declividade 2%)	0,05 – 0,10
Médio (declividade de 2% a 7%)	0,10 – 0,15
Alta (declividade 7%)	0,15 – 0,20
Grama, solo pesado:	
Plano (declividade 2%)	0,13 – 0,17
Médio (declividade de 2% a 7%)	0,18 – 0,22
Alta (declividade 7%)	0,25 – 0,35

Fonte: ASCE (1969) apud Prefeitura de Porto Alegre (2005a)

Os coeficientes de escoamento (C) para superfícies urbanas indicados pela SUDERSHA (2002) são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 - Coeficientes de escoamento para superfícies urbanas

Tipo da superfície	Valor recomendado	Faixa de variação
Concreto, asfalto e telhado	0,95	0,90 – 0,95
Paralelepípedo	0,70	0,58 – 0,81
Blackets	0,78	0,70 – 0,89
Concreto e asfalto poroso	0,03	0,02 – 0,05
Solo compactado	0,66	0,59 – 0,79
Matas, parques e campos de esporte	0,10	0,05 – 0,20
Grama solo arenoso	0,10	0,08 – 0,18
Grama solo argiloso	0,20	0,15 – 0,30

Fonte: SUDERSHA (2002)

De acordo com Miguez, Veról e Rezende (2016), a determinação do coeficiente de escoamento médio da área em estudo é feito através do cálculo de uma média ponderada, conforme equação (2).

$$C = \frac{\sum C_i \times A_i}{\sum A_i} \quad (2)$$

onde:

C: coeficiente de escoamento médio ponderado;

C_i: coeficiente de escoamento referente a parcela “i” da área de contribuição;

A_i: área de contribuição da parcela “i”.

3.4.2 Método racional modificado com critério de Fantolli

De acordo com a Prefeitura do Rio de Janeiro (2010), esse método assume as mesmas características do Método Racional, acrescentando apenas dois coeficientes redutores que variam de acordo com as características da bacia. Conforme o autor, a aplicação desse método permite que sejam estimadas as vazões para bacias com áreas menores ou iguais a 100ha.

O modelo é apresentado na equação (3).

$$Q = C_d \times f \times i \times A \quad (3)$$

onde:

Q: vazão gerada [m³/s];

C_d: coeficiente de distribuição [adimensional];

$$\text{Se } A < 10000 \text{ m}^2, C_d = 1$$

$$\text{Se } A \geq 10000 \text{ m}^2, C_d = \frac{A^{-0,15}}{10000}$$

f: coeficiente de deflúvio (critério de Fantolli) [adimensional];

$$f = 0,0725 \times C \times (i \times tc)^{\frac{1}{3}}$$

i: intensidade da precipitação [m/s];

A: área da bacia [m²];

C: coeficiente de escoamento superficial [adimensional];

tc: tempo de concentração [min].

3.5 SISTEMAS CLÁSSICOS DE DRENAGEM

A drenagem urbana se refere a um conjunto de medidas que tem por objetivo minimizar os riscos que as populações estão sujeitas, diminuir os prejuízos causados por inundações e possibilitar o desenvolvimento urbano de forma harmônica, articulada e sustentável (PORTO, *et al.*, 2009).

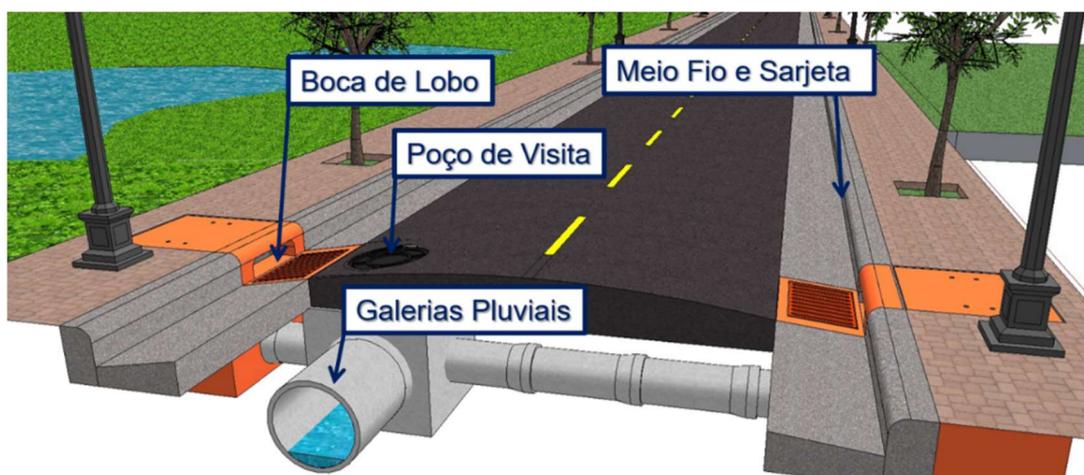
De acordo com Baptista, Nascimento e Barraud (2015), os sistemas clássicos de drenagem fundamentam-se em ideias higienistas, baseando-se na captação das águas pluviais e lançando-as por meio de condutos preferivelmente subterrâneos para o curso d'água ou estruturas de macrodrenagem, o mais rápido possível.

Conforme Cardoso Neto (1998), os sistemas de microdrenagem (Figura 8) geralmente são constituídos pelos seguintes dispositivos:

- a) meios-fios e sarjetas: o conjunto serve de limite entre a via e o passeio público e segue o traçado lado a lado ao eixo da via. Juntos formam uma calha para coleta e transporte das águas provenientes da rua;
- b) bocas coletoras: dispositivos feitos para captação das águas transportadas pelas sarjetas e, em seguida, lançá-las na tubulação pública;
- c) galerias: são canalizações públicas destinadas ao escoamento das águas pluviais captadas pelas bocas de lobo e ligações privadas até o seu destino final, seja ele um curso d'água ou sistema de macrodrenagem.
- d) poços de visita: dispositivos instalados em pontos apropriados ao sistema para permitir sua manutenção;

Quando não houver condições de escoamento por gravidade para a remoção da água de um canal de drenagem para outro, recorre-se a condutos forçados.

Figura 8 - Sistema clássico de drenagem pluvial



Fonte: Adaptado pelo autor de SEMASA (2014)

3.5.1 Tempo de concentração inicial

De acordo com a Prefeitura do Rio de Janeiro (2010), em projetos de microdrenagem, quando a área a montante é urbanizada ou estiver em processo de urbanização, com divisor de águas a uma distância aproximada de 60m, o tempo de concentração inicial é obtido pela Tabela 4.

Tabela 4 - Tempo de concentração para áreas urbanizadas

Tipologia da área a montante	Declividade da sarjeta	
	< 3%	>3%
Áreas de construções densas	10 min	7 min
Áreas residenciais	12 min	10 min
Parques, jardins, campos	15 min	12 min

Fonte: Prefeitura do Rio de Janeiro (2010)

Para os demais casos relativos ao percurso do escoamento sobre o terreno natural aplica-se a fórmula de Kerby, apresentada na equação (4).

$$t_2 = 1,44 \times \left[L_2 \times C_k \times \left(\frac{1}{S_2^{0,5}} \right) \right]^{0,47} \quad (4)$$

onde:

t_2 : tempo de percurso sobre o terreno natural [min];

L_2 : comprimento do percurso considerado [km];

C_k : coeficiente determinado pela Tabela 5;

S₂: declividade média do terreno.

Tabela 5 - Coeficientes C_k da equação de Kerby

Tipo de superfície	Coeficiente C_k
Lisa e impermeável	0,02
Terreno endurecido e desnudo	0,10
Pasto ralo, terreno cultivado em fileiras e superfície desnuda, moderadamente áspera	0,20
Pasto ou vegetação arbustiva	0,40
Mata de árvores decíduas	0,60
Mata de árvores decíduas tendo o solo recoberto por espessa camada de detritos vegetais	0,80

Fonte: Prefeitura do Rio de Janeiro (2010)

E conforme a Prefeitura de Porto Alegre (2005a), o escoamento sobre uma superfície tem pequena profundidade, portanto, o fator de atrito de Manning deve incluir os efeitos do impacto das gotas de chuva, canalização do escoamento em pequenos canais, obstáculos, pedras, arraste sobre a superfície, erosão e transporte de sedimentos. Dessa maneira, o autor recomenda a formulação obtida a partir da solução da onda Cinemática-Manning. O modelo é apresentado na equação (5).

$$t_2 = \frac{5,474 \times (n \times L)^{0,8}}{P_{24}^{0,5} \times S^{0,4}} \quad (5)$$

onde:

t₂: tempo de percurso sobre o terreno natural [min];

S: declividade [m/m];

n: coeficiente de rugosidade de Manning, conforme a Tabela 6;

L: comprimento do escoamento (m);

P₂₄: precipitação com 24 horas de duração [mm]. A P₂₄ é determinada pela IDF correspondente ao local em estudo, considerando o tempo de retorno de projeto.

Tabela 6 - Coeficientes de rugosidade de Manning para escoamento superficial

Descrição da superfície	Rugosidade (n)
Superfícies alisadas:	
Concreto, asfalto, pedregulhos ou solo exposto	0,011
Solos sem cultivo	0,050
Solos cultivados:	
Resíduos cobrem < 20%	0,150
Resíduos cobrem > 20%	0,240
Gramma nativa, alfafa, etc.	0,410
Pastagens naturais	0,130
Florestas:	
Vegetação rasteira esparsa	0,400
Vegetação rasteira densa	0,800

Fonte: Soil Conservation Service (1986) apud Prefeitura de Porto Alegre (2005a)

E de acordo com a SUDERSHA (2002), o tempo de concentração inicial deve ser calculado pela fórmula de Kirpich, através da equação (6).

$$t_2 = 57 \times \left(\frac{L^3}{H} \right)^{0,385} \quad (6)$$

onde:

t_2 : tempo de concentração inicial [min];

L: comprimento do curso d'água principal da bacia [km];

H: diferença de elevação entre o ponto mais remoto da bacia e o exutório [m].

O autor ainda sugere que o tempo de concentração da chuva para aplicação do método racional seja limitado a um valor mínimo de 10 min. Assim, em pequenas bacias, quando se obtiverem valores menores que 10 min, deve-se adotar $t_2 = 10$ min.

3.5.2 Bocas-coletoras

De acordo com a Prefeitura do Rio de Janeiro (2010), as bocas coletoras devem ser previstas sempre que a capacidade de escoamento da sarjeta for excedida e nos pontos baixos dos greides. É permitido o escoamento superficial desde que a faixa inundável das sarjetas não ultrapasse 0,80m nas vias principais e 1,00m nas

vias secundárias, e a velocidade máxima de escoamento superficial não deverá ultrapassar 3,0 m/s.

A capacidade de engolimento da grelha padrão adotada pela Prefeitura do Rio de Janeiro considerada em projetos de drenagem urbana, encontra-se na faixa de 30 a 40 L/s (PREFEITURA DO RIO DE JANEIRO, 2010).

Conforme a Prefeitura de Porto Alegre (2005a), as bocas-coletoras com grelha funcionam como um vertedor de soleira livre para profundidades da lâmina d'água de até 12,0 cm. E apresenta a equação (7) para calcular a capacidade de engolimento das mesmas. O autor define que as dimensões internas mínimas das grelhas padrões são de 0,30m de comprimento, 0,80m de largura e 0,90m de profundidade.

$$Q_c = 1,7 \times P \times y^{\frac{3}{2}} \quad (7)$$

onde:

Q_c : capacidade teórica de engolimento [m^3/s];

P : perímetro do orifício, se um dos lados da grelha for adjacente à guia da sarjeta, este lado deverá ser excluído do perímetro da mesma [m];

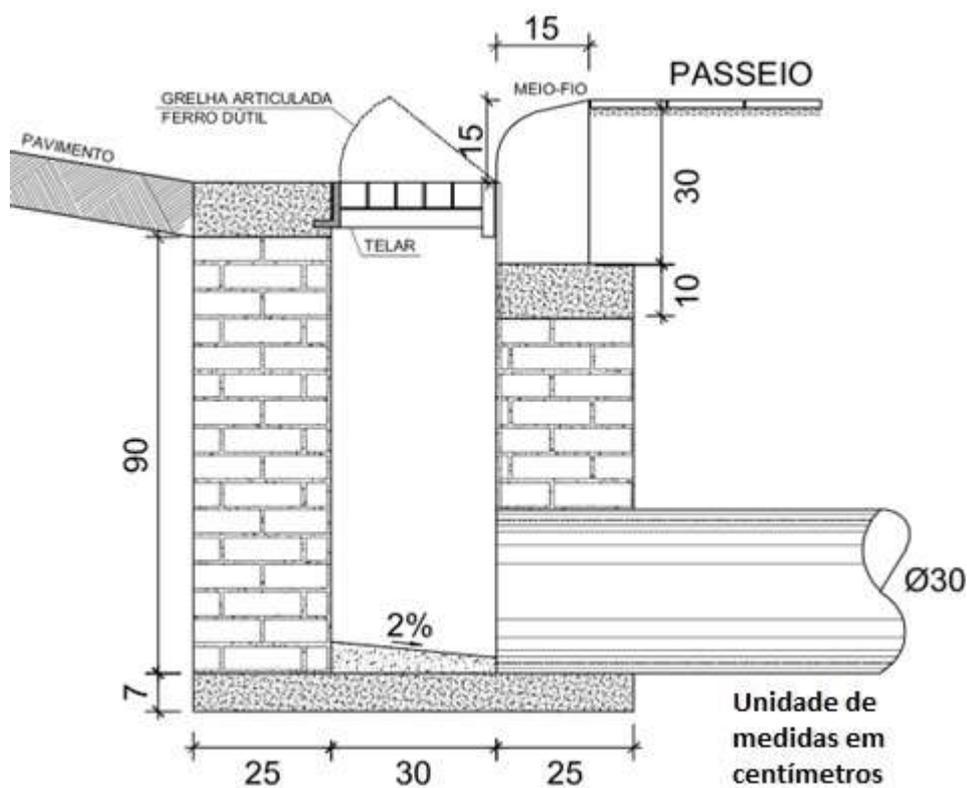
y : lâmina d'água próxima à boca coletora [m].

Na Figura 9 é apresentado o modelo de uma boca coletora sob o pavimento com grelha de ferro padrão.

A capacidade real de engolimento das bocas-coletoras é menor que a capacidade teórica devido a vários fatores, entre eles, pode-se citar a obstrução causada por detritos, irregularidades nos pavimentos das ruas junto às sarjetas e alinhamento real (PREFEITURA DE PORTO ALEGRE, 2005a).

Na Tabela 7 o autor propõe alguns coeficientes de redução para aproximar a capacidade de engolimento calculada à situações mais reais.

Figura 9 - Boca coletora sob o pavimento com grelha de ferro



Fonte: Prefeitura de Porto Alegre (2005b)

Tabela 7 - Fatores de redução da capacidade de bocas-coletoras

Localização da sarjeta	Tipo de boca-coletora	Coefficiente de redução sobre o valor teórico
Ponto Baixo	De guia	0,80
	Com grelha	0,50
	Combinada	0,65
Ponto intermediário	De guia	0,80
	Com grelha longitudinal	0,60
	Com grelha transversal ou longitudinal com barras transversais	0,60
	combinadas	0,60

Fonte: Adaptado de DAEEE/CETESB (1980) apud Prefeitura de Porto Alegre (2005a)

3.5.3 Poços de visita

As bocas-coletoras são responsáveis por transferir o escoamento superficial das águas para a rede de galerias subterrânea do sistema de drenagem. De forma

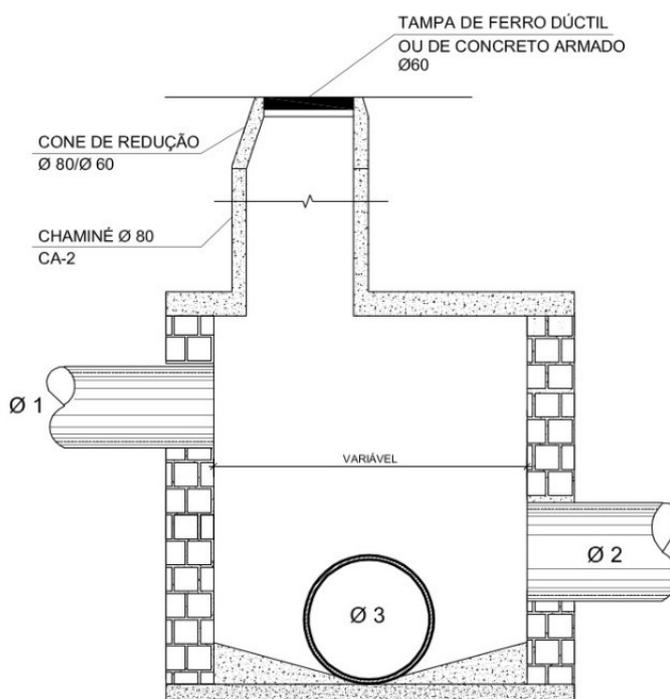
geral, essa conexão não é feita diretamente na galeria, principalmente quando estão sendo utilizadas galerias circulares. Dessa forma, são previstos elementos para receber as águas pluviais captadas, direcionando-as para o trecho de galeria a jusante. Tais dispositivos são conhecidos com poços de visita (MIGUEZ; VERÓL; REZENDE, 2016).

Ainda conforme os autores, os poços de visita possuem não só a função de receber as águas captadas pelas bocas-coletoras, o poço de visita, como o próprio nome sugere, também possui a função de proporcionar a visita das galerias subterrâneas, permitindo a manutenção da rede.

A Prefeitura do Rio de Janeiro (2010) define que o espaçamento entre os poços de visita deve estar compreendido em 30m e 40m, independente do diâmetro da rede.

A Prefeitura de Porto Alegre (2005a) sugere que sejam construídos poços de visita nos pontos de mudanças de direção, reunião de vários coletores, mudanças de declividade e mudança de diâmetro. E o espaçamento recomendado entre os poços de visita é de 50m de distância. Na Figura 10 é apresentado o modelo de um poço de visita.

Figura 10 - Poço de visita tipo "C"



Fonte: Prefeitura de Porto Alegre (2005b)

De acordo com a Prefeitura de Porto Alegre (2005b), os poços de visita devem ser retangulares, com dimensões variáveis, conforme inserções, posicionamento e diâmetro das tubulações, tendo a seguinte classificação:

- a) Tipo “A”: dimensões internas de 0,80m x 0,80m e altura máxima de 1,50m, para tubos com diâmetro interno de até 0,40m;
- b) Tipo “B”: dimensões internas de 1,00m x 1,00m e altura máxima de 1,50m, para tubos com diâmetro interno entre 0,50m e 0,80m;
- c) Tipo “C”: dimensões internas de 1,00m x 2,00m e altura máxima de 2,00m, para tubos com diâmetro interno entre 1,00m e 1,50m;
- d) Tipo “especial”: poços com dimensões diferentes das anteriormente especificadas devem ser submetidos ao Departamento de Esgotos Pluviais para análise e autorização.

Os poços-de-visita com quedas superiores a 1,20m devem ser projetados com estruturas que possibilitem a diminuição da energia e impacto contra o fundo, sendo classificados como “especiais”.

3.5.4 Galerias pluviais

Após a recepção das águas da chuva pelas sarjetas, transporte até as bocas-coletoras e transferência para os poços de visita, o escoamento pluvial segue viagem em galerias subterrâneas (MIGUEZ; VERÓL; REZENDE, 2016).

Ainda conforme os autores, na grande maioria dos sistemas de microdrenagem urbana, as galerias apresentam seção circular, geralmente com diâmetros entre 0,30m e 1,50m, ou retangular, quando os escoamentos necessitam de maiores áreas hidráulicas. Tais dimensões devem sempre respeitar possíveis normas e parâmetros municipais, quando existentes.

3.5.4.1 Diâmetro de galerias circulares

De acordo com a prefeitura de Porto Alegre (2005a), o diâmetro das galerias circulares podem ser calculados com o uso da equação da continuidade e fazendo-se, na equação de Manning, $R = D/4$ (seção plena), deduz-se a expressão para o diâmetro, obtendo-se a equação (8).

$$D = 1,55 \times \left(\frac{Q \times n}{S^{\frac{1}{2}}} \right)^{\frac{3}{8}} \quad (8)$$

onde:

D: diâmetro da calculado [m];

Q: vazão escoada no trecho [m³/s];

n: coeficiente de rugosidade da tubulação, conforme Tabela 8;

S: declividade do trecho [m/m].

Tabela 8 - Coeficientes de rugosidade de galerias com seções circulares

Tipo de conduto	Mínimo	Máximo	Valor usual
Tubos de concreto armado	0,011	0,015	0,013
Tubos de ferro fundido	0,011	0,015	0,011
Tubos de aço	0,009	0,011	0,011
Tubos corrugados de metal			
68mm x 13mm	0,019	0,021	0,021
76mm x 25mm	0,021	0,025	0,025
152mm x 51mm	0,024	0,028	0,028
Tubos corrugados de polietileno	0,018	0,025	0,025
Tubos de PVC	0,009	0,011	0,011

Fonte: Prefeitura do Rio de Janeiro (2010)

Após obter o diâmetro calculado da tubulação, deve-se adotar um diâmetro comercial igual ou superior ao diâmetro calculado. De acordo com a Prefeitura de Porto Alegre (2005b), os diâmetros comerciais existentes para galerias circulares fechadas são 0,30m, 0,40m, 0,50m, 0,60m, 0,80m, 1,00m, 1,20m e 1,50m.

3.5.4.2 Velocidade de escoamento

Conforme a Prefeitura de Porto Alegre (2005a), a velocidade máxima admissível determina-se em função do material a ser empregado na rede. Para tubos de concreto, a velocidade máxima admissível é de 4,0m/s, a velocidade mínima é de 0,80 m/s. E de acordo com a Prefeitura do Rio de Janeiro (2010), para tubos de concreto, a velocidade máxima admissível é de 5,0m/s e a velocidade mínima é de 0,80 m/s.

De acordo com a Prefeitura de Porto Alegre (2005a) e a Prefeitura do Rio de Janeiro (2010), a velocidade de escoamento pode ser calculada utilizando-se a equação (9).

$$V = \frac{Rh^{\frac{2}{3}} \times S^{\frac{1}{2}}}{n} \quad (9)$$

onde:

V: velocidade de escoamento no trecho [m/s];

Rh: raio hidráulico [m], conforme equação (11);

S: declividade do trecho [m/m];

n: coeficiente de rugosidade da tubulação, conforme Tabela 8.

Para determinar o raio hidráulico (Rh), deve-se primeiramente determinar o fator hidráulico (Fh) da seção circular, esse fator é dado pela equação (10).

$$Fh = \frac{Q \times n}{D^{\frac{8}{3}} \times S^{\frac{1}{2}}} \quad (10)$$

onde:

Fh: fator hidráulico da seção circular [adimensional]

Q: vazão escoada no trecho [m³/s];

n: coeficiente de rugosidade da tubulação, conforme Tabela 8;

D: diâmetro da tubulação adotado [m];

S: declividade do trecho [m/m].

Após determinar fator hidráulico (Fh), entra-se com este valor na Tabela 9 e determinam-se as relações Rh/D e y/D. Como o diâmetro adotado (D) é conhecido, calcula-se o raio hidráulico com a equação (11).

$$Rh = \frac{Rh}{D} \times D \quad (11)$$

onde:

Rh/D: relação do raio hidráulico e o diâmetro da tubulação adotado;

D: diâmetro da tubulação adotado [m];

Tabela 9 - Relações para fator hidráulico de seções circulares

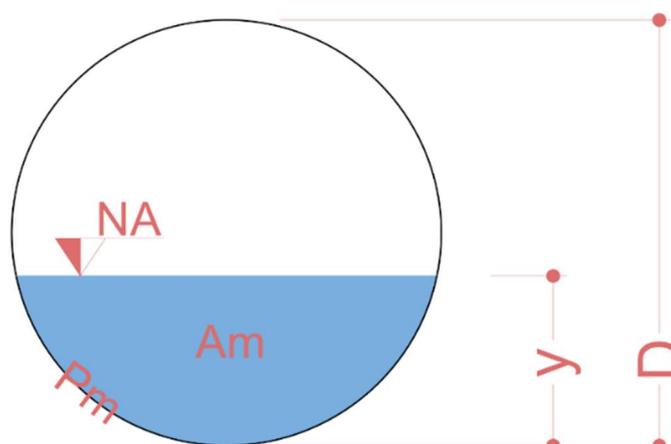
Fh de 0,001 até 0,080			Fh de 0,081 até 0,250			Fh de 0,251 até 0,333		
Fh	Rh/D	y/D	Fh	Rh/D	y/D	Fh	Rh/D	y/D
0,0001	0,0066	0,01	0,082	0,1935	0,35	0,2511	0,2933	0,68
0,0002	0,0132	0,02	0,0864	0,1978	0,36	0,256	0,2948	0,69
0,0005	0,0197	0,03	0,091	0,202	0,37	0,261	0,2962	0,7
0,0009	0,0262	0,04	0,0956	0,2062	0,38	0,2658	0,2975	0,71
0,0015	0,0326	0,05	0,1003	0,2102	0,39	0,2705	0,2987	0,72
0,0022	0,0389	0,06	0,105	0,2142	0,4	0,2752	0,2998	0,73
0,0031	0,0451	0,07	0,1099	0,2182	0,41	0,2798	0,3008	0,74
0,0041	0,0513	0,08	0,1148	0,222	0,42	0,2842	0,3017	0,75
0,0052	0,0575	0,09	0,1197	0,2258	0,43	0,2886	0,3024	0,76
0,0065	0,0635	0,1	0,1248	0,2295	0,44	0,2928	0,3031	0,77
0,0079	0,0695	0,11	0,1298	0,2331	0,45	0,2969	0,3036	0,78
0,0095	0,0755	0,12	0,1349	0,2366	0,46	0,3008	0,3039	0,79
0,0113	0,0813	0,13	0,1401	0,2401	0,47	0,3047	0,3042	0,8
0,0131	0,0871	0,14	0,1453	0,2435	0,48	0,3083	0,3043	0,81
0,0152	0,0929	0,15	0,1506	0,2468	0,49	0,3118	0,3043	0,82
0,0173	0,0986	0,16	0,1558	0,25	0,5	0,3151	0,3041	0,83
0,0196	0,1042	0,17	0,1611	0,2531	0,51	0,3183	0,3038	0,84
0,022	0,1097	0,18	0,1665	0,2562	0,52	0,3212	0,3033	0,85
0,0246	0,1152	0,19	0,1718	0,2592	0,53	0,3239	0,3026	0,86
0,0273	0,1206	0,2	0,1772	0,2621	0,54	0,3264	0,3018	0,87
0,0301	0,1259	0,21	0,1826	0,2649	0,55	0,3286	0,3007	0,88
0,0331	0,1312	0,22	0,1879	0,2676	0,56	0,3305	0,2995	0,89
0,0362	0,1364	0,23	0,1933	0,2703	0,57	0,3322	0,298	0,9
0,0394	0,1416	0,24	0,1987	0,2728	0,58	0,3335	0,2963	0,91
0,0427	0,1466	0,25	0,2041	0,2753	0,59	0,3345	0,2944	0,92
0,0461	0,1516	0,26	0,2094	0,2776	0,6	0,3351	0,2921	0,93
0,0497	0,1566	0,27	0,2147	0,2799	0,61	0,3353	0,2895	0,94
0,0534	0,1614	0,28	0,22	0,2821	0,62	0,3349	0,2865	0,95
0,0572	0,1662	0,29	0,2253	0,2842	0,63	0,3339	0,2829	0,96
0,061	0,1709	0,3	0,2306	0,2862	0,64	0,3322	0,2787	0,97
0,065	0,1756	0,31	0,2358	0,2881	0,65	0,3294	0,2735	0,98
0,0691	0,1802	0,32	0,2409	0,29	0,66	0,3248	0,2666	0,99
0,0733	0,1847	0,33	0,246	0,2917	0,67	0,3117	0,25	1
0,0776	0,1891	0,34						

Fonte: Prefeitura de Porto Alegre (2005a)

3.5.4.3 Relação de enchimento y/D

De acordo com a Prefeitura do Rio de Janeiro (2010), as galerias são projetadas como condutos livres e devem atender a condição de relação de enchimento $y/D \leq 0,85$.

Figura 11 - Elementos geométricos das seções circulares



Fonte: Adaptado de Prefeitura de Porto Alegre (2005a)

onde:

Pm: perímetro molhado;

Am: área molhada;

y: altura da lâmina d'água;

D: diâmetro do conduto;

NA: nível d'água.

A Prefeitura de Porto Alegre (2005a) estabelece que as galerias pluviais são projetadas para funcionamento a seção plena com a vazão de projeto.

3.5.4.4 Tempo de concentração

De acordo a Prefeitura de Porto Alegre (2005a) e a Prefeitura do Rio de Janeiro (2010), para os trechos subsequentes, o tempo de concentração t_c será do trecho anterior mais o tempo de escoamento t_e , conforme a equação (12).

$$t_{c_i} = t_{c_{i-1}} + t_{e_i} \quad (12)$$

onde:

t_{c_i} : tempo de concentração do trecho em análise [min];

$t_{c_{i-1}}$: tempo de concentração do trecho anterior [min];

t_{e_i} : tempo de escoamento no trecho em análise [min], conforme equação (13).

$$te = \frac{L}{V} \quad (13)$$

onde:

L: comprimento do trecho em análise [m];

V: velocidade de escoamento no trecho em análise [m/s].

Sempre que, para um PV, concorrerem dois ou mais trechos, o tempo de concentração adotado deverá ser aquele que representar o maior valor.

3.5.5 Limitações do sistema clássico de drenagem

Conforme Tucci (2005), é realizado um controle equivocado do escoamento na drenagem urbana, e que a origem dos impactos gerados é devido a dois tipos de erros.

- a) Princípio dos projetos de drenagem: a drenagem urbana tem sido desenvolvida com base no falso princípio de que “a melhor drenagem é a que retira a água pluvial excedente o mais rápido possível do seu local de origem”;
- b) Avaliação e controle por trechos: na microdrenagem, os projetos aumentam a vazão e transferem todo o seu volume para jusante. Na macrodrenagem, são construídos canais para evitar a inundação em cada trecho crítico. Esse tipo de solução é apropriado a um trecho da bacia, sem prever consequências para o restante dela, e sem considerar diferentes horizontes de ocupação urbana, o que acaba apenas transferindo a inundação de um lugar para outro da bacia.

Nascimento e Baptista (2009) concordam com Tucci (2005), afirmando que os reflexos da intensa urbanização sobre os processos hidrológicos têm deixado os limites das soluções tradicionais de drenagem urbana evidentes, proveniente da tendência das soluções tradicionais em agravar ou intensificar tais efeitos.

Os autores também afirmam que sistemas tradicionais de drenagem são pouco flexíveis e adaptáveis a mudanças de uso do solo, situações frequentes em processos de urbanização, revelando-se onerosos e de rápida obsolescência, demandando pesados investimentos em intervenções do setor público na

reconstrução. Esse tipo de intervenção, muitas vezes feito em caráter de emergência, após a ocorrência de eventos graves de inundação, tende a conduzir ao emprego de soluções localizadas e parciais, adotadas a partir de estudos de diagnóstico e de alternativas elaborados de forma apressada e simplista.

Dessa forma Souza e Goldenfum (2001) concluem que, devido às limitações das soluções clássicas de drenagem, faz-se necessária uma remodelagem do sistema, afim de adaptá-lo a situações de hidrogramas de cheias mais rápidas e críticas. Surge-se então, a ideia de reestabelecer a vazão de pré-ocupação, fazendo com que a água das chuvas volte a ser interceptada, antes de atingir a rede de drenagem. Para tanto, as chamadas estruturas compensatórias de drenagem se apresentam como bons instrumentos de controle do escoamento superficial.

3.6 SISTEMAS COMPENSATÓRIOS DE DRENAGEM

De acordo com Souza, Cruz e Tucci (2012), na tentativa de resolver parte das deficiências apresentadas pelos sistemas clássicos, foram desenvolvidos os métodos compensatórios de drenagem das águas pluviais.

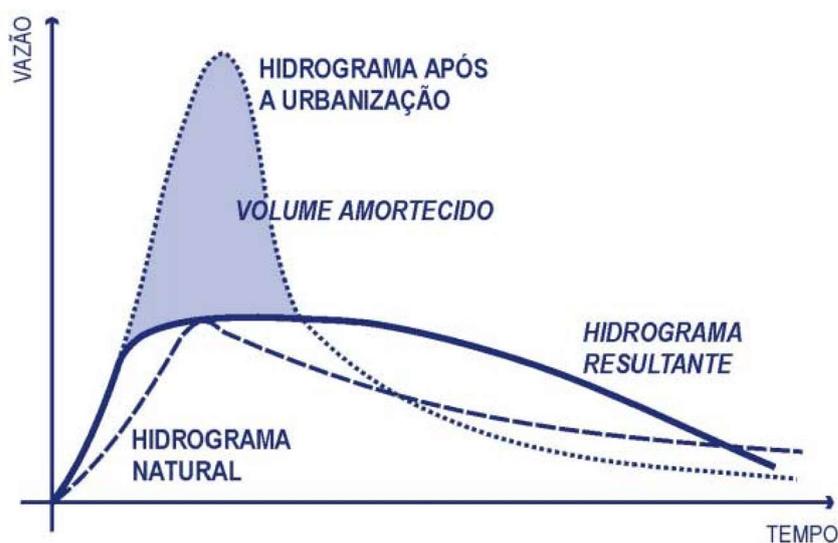
As técnicas compensatórias se baseiam na retenção e infiltração das águas precipitadas, visando o rearranjo temporal das vazões e, eventualmente, a diminuição do volume escoado, reduzindo a probabilidade de inundações e possibilitando ganhos na qualidade das águas pluviais (BAPTISTA; NASCIMENTO; BARRAUD, 2015).

Conforme Souza, Cruz e Tucci (2012), os métodos compensatórios de drenagem são constituídos por estruturas de detenção, retenção, pavimentos permeáveis, reservatórios, valos e trincheiras de infiltração.

De acordo com Ballard, et al. (2015), as técnicas compensatórias têm como objetivo controlar as vazões de pico após o desenvolvimento urbano. Isso pode ser alcançado pelo processo de atenuação, retardando e armazenando o escoamento no local, limitando a uma vazão de saída igual a vazão da pré-urbanização.

Ao observar a utilização de dispositivos com a função de retardar e armazenar o escoamento superficial, depara-se com hidrogramas como o da Figura 12.

Figura 12 - Efeito do amortecimento de vazões pelos métodos compensatórios



Fonte: SUDERHSA (2002)

Para Baptista, Nascimento e Barraud (2015), essas tecnologias podem assumir múltiplas formas, permitindo sua utilização em diferentes escalas, desde pequenas parcelas até o projeto de sistemas de drenagem para grandes áreas. Elas podem também, integrar-se ao meio urbano, possibilitando o uso associado a áreas de estacionamentos, áreas de lazer e práticas de esporte. As técnicas compensatórias também podem ser implementadas de forma combinada dentro do mesmo empreendimento, potencializando seus efeitos.

Como visto anteriormente, as estruturas de drenagem compensatórias podem assumir múltiplas formas. Neste sentido, no item 3.7 é apresentado os conceitos e métodos de dimensionamento de estruturas de trincheiras lineares de infiltração e de retenção das águas pluviais.

3.7 TRINCHEIRAS DE INFILTRAÇÃO E DETENÇÃO

Conforme Baptista, Nascimento e Barraud (2015), as trincheiras possuem um sistema de funcionamento bem simplificado. “O acesso das águas superficiais à estrutura pode ser efetuado diretamente, através da superfície do dispositivo, ou através de um sistema convencional de drenagem, que efetua a coleta e sua introdução na trincheira.” (BAPTISTA; NASCIMENTO; BARRAUD, 2015, p. 206).

Conforme Bettess (1996) apud Souza (2002), o sistema de trincheiras é visualmente bem integrado e permite que os espaços sejam utilizados para outras

atividades. Entretanto, também apresenta características negativas, como dificuldade de monitoramento do desempenho e dificuldades de manutenção ao longo do tempo.

Figura 13 - Integração de trincheiras no meio urbano



Fonte: Site de Sustainable Stormwater Management (2018)

Os custos de implantação das trincheiras não se apresentam significativos, sendo muito similares aos drenos convencionais. Levando em conta a redução dos custos do sistema de drenagem a jusante, pode-se perceber vantagens na utilização deste tipo de dispositivo. Porém, tendo em vista os riscos da colmatação, os custos de manutenção podem ser significativos (BAPTISTA; NASCIMENTO; BARRAUD, 2015).

3.7.1 Interior das trincheiras

De acordo com Balades et. al (1988) apud Souza (2002), as trincheiras constituem-se por valetas preenchidas com material granular, entre eles pode-se citar os seixos rolados e pedra britada com porosidade em torno de 35%, dependendo do material utilizado. Na Tabela 10 é apresentada a porosidade efetiva de alguns materiais utilizados no preenchimento das trincheiras.

Tabela 10 - Porosidade efetiva de materiais de enchimento

Material	Porosidade efetiva (%)
Brita grossa	30
Cascalho de granulometria uniforme	40
Brita graduada (menores que ¼")	30
Areia	25
Seixo rolado	15-25

Fonte: Urbonas e Stahre (1993) apud Souza (2002)

Ainda de acordo com o autor, em trincheiras de infiltração, um filtro geotêxtil deve ser colocado entre a trincheira e a superfície, recoberto por uma camada de seixos, formando uma superfície drenante. Todo o material deve estar envolto no filtro geotêxtil, que impede a entrada de material fino na estrutura, além de servir como anticontaminante. A drenagem do excesso de água da trincheira de infiltração pode ser feita através de um tubo perfurado colocado entre o material granular, no interior da trincheira.

3.7.2 Vazão de saída

De acordo com Baptista, Nascimento e Barraud (2015), a vazão de saída depende essencialmente do seu modo de descarga. Ele pode ser constante, ou considerado como tal, quando do dimensionamento da estrutura. E pode ser variável e dependente da altura de armazenamento.

O limite da vazão de saída pode ser estabelecido de acordo com os seguintes casos:

- a) dado por uma regulamentação de limitação de vazão;
- b) definido como sendo a vazão produzida pela zona antes de sua urbanização ou em um estado de ocupação bem inferior ao atual;
- c) calculado de modo que a estrutura se esvazie rapidamente.

3.7.2.1 Cálculo da vazão de saída em trincheiras de retenção

Conforme Baptista, Nascimento e Barraud (2015), a evacuação das águas pluviais pode ser realizada por meio de trincheiras de retenção, onde ocorre a simples

descarga, a jusante do sistema de drenagem, proporcionando a detenção temporária das águas, reduzindo o pico de vazão a jusante.

De acordo com os autores, diferentemente das trincheiras de infiltração, onde é considerado a permeabilidade da água no solo, a vazão de saída das trincheiras de detenção depende da capacidade hidráulica do exutório, seja natural ou fixada como uma vazão de restrição imposta por autoridades locais. Baptista, Nascimento e Barraud (2015) afirmam que a principal finalidade dessa obra é promover o rearranjo temporal das vazões escoadas.

Os autores afirmam que antes de adotar trincheiras de detenção no sistema de drenagem é necessário que as seguintes condições se satisfaçam:

- a) a existência ou possibilidade de um exutório (poços, rede, bacia);
- b) o nível máximo do lençol freático situar-se a mais de 1 metro de distância da base da trincheira, devido a possibilidade de danos à impermeabilização ocasionada pela sub-pressão.

A Prefeitura de Porto Alegre (2005a), determina que a drenagem proveniente de um lote, condomínio ou outro empreendimento individualizado, estacionamento, parques e passeios devem possuir uma vazão máxima de saída igual ou menor que a vazão máxima de pré-desenvolvimento. A vazão de pré-desenvolvimento é determinada a partir da área do lote ou loteamento, para áreas de até 100 ha, conforme a equação (14). Para áreas maiores que 100 ha, a Prefeitura de Porto Alegre (2005a) afirma ser necessário a realização de um estudo hidrológico específico para a região.

$$Q_{pd} = 20,80 \times A \quad (14)$$

onde:

Q_{pd} : vazão de pré-desenvolvimento [l/s];

A: área do lote ou loteamento [ha].

A SUDERSHA (2002), da mesma forma que a Prefeitura de Porto Alegre (2005a), estabelece que um novo empreendimento não deve gerar uma vazão pluvial maior que a vazão produzida na área ocupada antes da implantação do

empreendimento. Para isso, a vazão de pré-desenvolvimento da região metropolitana de Curitiba é obtida pela equação (15).

$$Q_{pd} = 27,00 \times A \quad (15)$$

onde:

Q_{pd} : vazão de pré-desenvolvimento [l/s];

A: área do lote ou loteamento [ha].

O método de dimensionamento de trincheiras de retenção obedece ao mesmo das trincheiras de infiltração. Porém, com as seguintes exceções:

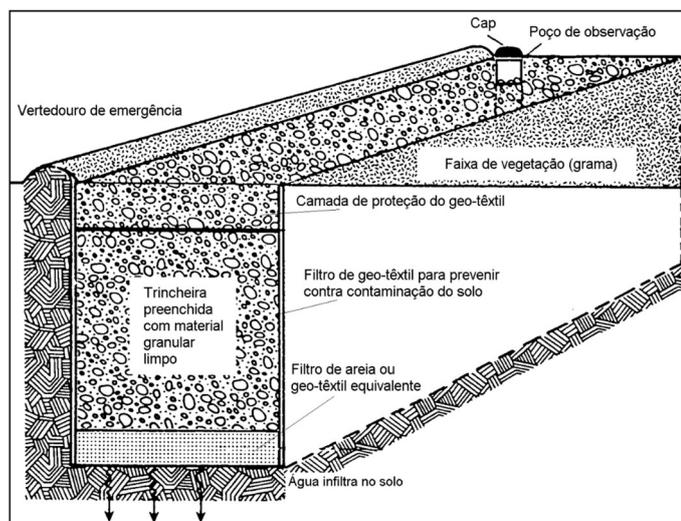
- a) cálculo da vazão de saída, na qual desconsidera qualquer permeabilidade da água no solo;
- b) necessidade de dimensionar dispositivos de controle de vazão da descarga a jusante do sistema das trincheiras.

3.7.2.2 Cálculo da vazão de saída em trincheiras de infiltração

Segundo Baptista, Nascimento e Barraud (2015), a evacuação das águas pode ser efetuada por meio de trincheiras de infiltração, onde é feito pela infiltração da água no solo, através de sua base e das paredes. Uma seção típica das trincheiras de infiltração pode ser visualizada na Figura 14.

De acordo com Souza e Goldenfum (2001), as trincheiras de infiltração têm como princípio de funcionamento o armazenamento temporário possibilitando um maior tempo para que a água infiltre no solo. Elas são constituídas por valetas preenchidas por material granular, com porosidade em torno de 40%. Este material granular é revestido por um filtro de geotêxtil, que, além da função estrutural, impede a entrada de finos no dispositivo, reduzindo o risco da colmatação da estrutura.

Figura 14 - Trincheira de infiltração típica



Fonte: Modificado de Schueler (1987, apud SOUZA, 2002)

Urbonas e Stahre (1993) apud Souza (2002) não recomendam a adoção de estruturas de infiltração de águas superficiais caso alguma das situações citadas abaixo for encontrada no terreno ou se sua ocorrência for comum no local.

- a) o nível d'água máximo sazonal do lençol estiver a menos de 1,2 metro abaixo do fundo da trincheira;
- b) a camada impermeável estiver a menos de 1,2 metro abaixo do fundo da trincheira;
- c) a taxa de infiltração do solo saturado for inferior a 8 mm/h;
- d) a superfície de infiltração for um aterro.

Hasegawa et al. (1999) apud Souza (2002) destaca que outro fator a se observar na instalação de dispositivos de infiltração é a densidade de utilização. Esse fator deve ser considerado de modo que um dispositivo de infiltração não tenha influência sobre o funcionamento de outro, causando a redução de seu desempenho.

Conforme Baptista, Nascimento e Barraud (2015), as trincheiras proporcionam diversos benefícios hidrológicos, entre eles, a infiltração das águas pluviais, pois possibilitam que o volume de escoamento superficial seja reduzido, aliviando o sistema de drenagem a jusante.

Ainda de acordo com os autores a utilização de trincheiras apresentam os seguintes benefícios:

- a) ganho financeiro, com a redução das dimensões ou até mesmo eliminação do sistema de drenagem a jusante;
- b) ganho paisagístico possibilitando a valorização do espaço urbano, devido ao pequeno espaço requerido por esses dispositivos;
- c) ganho ambiental, pois possibilita a recarga do lençol freático, no caso das trincheiras de infiltração, e a melhoria da qualidade das águas pluviais.

Deve-se observar na instalação de dispositivos de infiltração a densidade de utilização. Esse fator deve ser considerado de modo que um dispositivo de infiltração não tenha influência sobre o funcionamento de outro, reduzindo-lhe o desempenho. (SOUZA, 2002).

De acordo com Baptista, Nascimento e Barraud (2015), a vazão de saída é função da capacidade de infiltração do solo, definidas por ensaios de permeabilidade da superfície de infiltração e da altura de água na trincheira. Considerando-se uma vazão de saída constante, esta pode ser calculada pela equação (16).

$$Q_s = \alpha \times q_{as} \times A_{inf} \quad (16)$$

Onde:

Q_s : vazão de saída [m^3/s];

A_{inf} : superfície de infiltração contribuinte para a evacuação da água [m^2];

q_{as} : capacidade de absorção por unidade de superfície de infiltração [$m^3/s.m^2$];

α : coeficiente de segurança, de forma a considerar a colmatação.

O coeficiente de segurança α considera o efeito inevitável da colmatação nas trincheiras. Na Tabela 11 são apresentadas as hipóteses de cálculo adotadas em diferentes países para integrar os efeitos potenciais da colmatação.

Tabela 11 - Hipóteses de cálculo para considerar a colmatção

País	Coefficientes de redução da permeabilidade	Superfície de infiltração S considerada
Dinamarca e Grã-Bretanha	-	Unicamente a metade das superfícies verticais
Suécia	0,5 à 0,3 conforme tipo de medida de condutividade	Unicamente a metade das superfícies verticais
Alemanha	-	Fundo mais metade das superfícies verticais
Holanda	-	Unicamente as superfícies verticais

Fonte: Baptista, Nascimento e Barraud (2015)

Conforme Baptista, Nascimento e Barraud (2015), a capacidade de absorção do solo pode ser aproximada pela condutividade hidráulica na fase de análise da viabilidade do projeto, considerando-se que o lençol freático seja profundo. Na Tabela 12 é apresentado as ordens de grandeza da condutividade hidráulica em diferentes tipos de solo. Os autores destacam que ensaios in situ são indispensáveis para a fase de estudo detalhado e projetos.

Tabela 12 - Ordem de grandeza da condutividade hidráulica em diferentes solos

K (m/s)	10⁻¹	10⁻²	10⁻³	10⁻⁴	10⁻⁵	10⁻⁶	10⁻⁷	10⁻⁸	10⁻⁹	10⁻¹⁰	10⁻¹¹
Tipos de solos	Seixos sem areia nem elementos finos		Areia com seixos, areia grossa a areia fina		Areia muito fina, silte grosso a silte argiloso		Argila siltosa a argila homogênea				
Possibilidade de infiltração	Excelente		Boa		Média e baixa		Baixa e nula				

Fonte: Musy e Soutter (1991) apud Baptista, Nascimento e Barraud (2015)

3.7.3 Método de dimensionamento

Conforme Baptista, Nascimento e Barraud (2015), existem duas grandes famílias de métodos utilizados para o dimensionamento de estruturas de

armazenamento ou infiltração, são os métodos simplificados, que abrangem o método das chuvas e o método dos volumes, e os métodos baseados em modelos conceituais, como o método de PULS.

Os métodos simplificados são baseados nas hipóteses de que a vazão de saída da obra de armazenamento é constante ocorre a transferência instantânea da chuva à obra de retenção. Dessa forma, os fenômenos de transferência e de amortecimento decorrentes do escoamento superficial na bacia são desconsiderados.

O método das chuvas ou método da “curva envelope” é bastante utilizado no dimensionamento expedito de bacias de retenção e pode ser adaptado para qualquer medida compensatória com algum volume de armazenamento (SILVEIRA; GOLDENFUM, 2007).

Através desse método, para efeito de cálculo, os volumes podem ser expressos em lâminas de água equivalentes sobre a área em planta do dispositivo. A curva afluente é dada pela curva P(D,T), que consiste na precipitação, duração e frequência das chuvas sendo afetada por coeficientes de escoamento e de relação de áreas enquanto que a curva efluente normalmente é uma reta, pois admite-se, por simplicidade, uma vazão de saída constante do dispositivo. Dessa forma, a curva afluente ao dispositivo é comparada com a curva efluente do dispositivo.

Assim, supondo-se que a estrutura de drenagem possui uma vazão de saída constante, esta pode ser expressa sob forma de vazão específica, conforme equação (17).

$$q_s = \frac{Q_s}{A_a} \quad (17)$$

onde:

Q_s : vazão de saída [m^3/s], conforme equação (16);

q_s : vazão específica de saída [m/s];

A_a : área efetiva de contribuição da bacia [m^2], conforme equação (18).

$$A_a = C \times A \quad (18)$$

onde:

C: coeficiente de escoamento superficial, conforme Tabela 2;

A: área total da bacia drenada [m^2];

3.7.3.1 Estimativa do volume a armazenar

Conforme Baptista, Nascimento e Barraud (2015), é necessário transformar as intensidades $i(D,T)$ (intensidade, duração e frequência das chuvas) em alturas $P(D,T)$ (precipitação, duração e frequência das chuvas). Obtêm-se a curva afluente pela equação (19).

$$P(D,T) = i(D,T) \times D \quad (19)$$

onde:

$P(D,T)$: curva de precipitação em função do tempo de duração [mm];

$i(D,T)$: série de intensidades da precipitação [mm/min];

D : série do tempo de duração do evento [min].

E em relação a curva efluente, a taxa de saída das águas armazenadas na estrutura é considerada constante, dessa forma a curva efluente torna-se uma reta inclinada, que se refere a evacuação das águas da estrutura. A reta é obtida pela equação (20).

$$q_s(D) = q_s \times D \quad (20)$$

onde:

$q_s(D)$: curva da vazão específica de saída [mm];

q_s : vazão específica de saída, conforme equação (17) [mm/min]

D : série do tempo de duração do evento [min].

As diferenças entre a curva $P(D,T)$ e a curva $q_s \cdot D$ correspondem às alturas a armazenar para diferentes durações. A diferença máxima corresponde à altura máxima específica a armazenar. A equação (21) descreve essa análise.

$$DP_{\max}(q_s, T) = \text{Máximo}[P(D,T) - q_s \cdot D] = P(D_p, T) - q_s \cdot D_p \quad (21)$$

onde:

$DP_{\max}(q_s, T)$: altura específica a armazenar [mm];

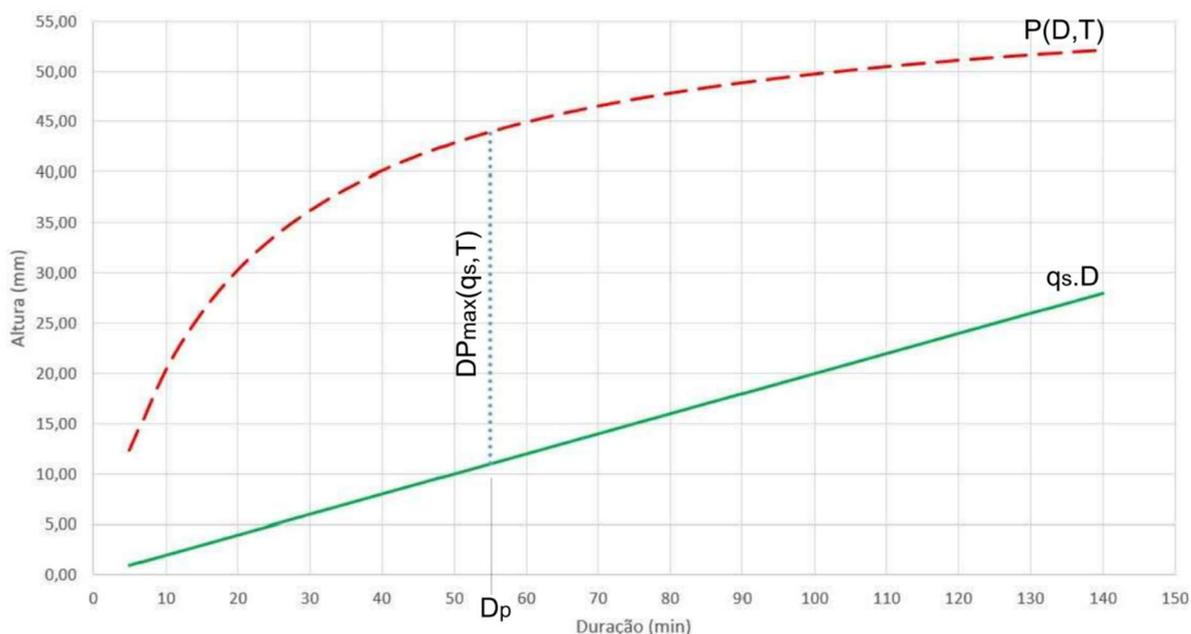
$P(D_p, T)$: altura afluente associada à duração D_p [mm];

$Q_s \cdot D_p$: altura efluente associada à duração D_p [mm];

D_p : tempo de duração para atingir a altura máxima [min].

Na Figura 15 é apresentado a análise do método das chuvas através das curvas afluentes e efluentes.

Figura 15 - Superposição da curva $P(D,T)$ e a curva de evacuação $q_s \cdot D$



Fonte: Adaptado de Baptista, Nascimento e Barraud (2015)

De acordo com Baptista, Nascimento e Barraud (2015), após ser determinada a diferença máxima de altura da precipitação, o volume de água a armazenar pode ser determinado pela equação (22).

$$S_{solicitado} = DP_{\max}(q_s, T) \times A_a \quad (22)$$

onde:

$S_{solicitado}$: volume de água a ser armazenado [m^3];

$DP_{\max}(q_s, T)$: diferença máxima de altura entre $P(D, T)$ e $q_s \cdot D$ [m];

A_a : área efetiva de contribuição da bacia [m^2], conforme equação (18).

Essas curvas PDF, determinadas estatisticamente, representam a evolução das alturas precipitadas para diferentes durações, sendo denominadas como curvas envelopes. Baptista, Nascimento e Barraud (2015) salientam que elas não descrevem

a evolução das contribuições acumuladas em função do tempo para um conjunto de chuvas.

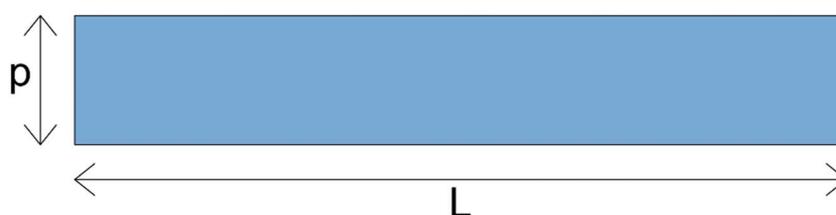
3.7.3.2 Dimensionamento da estrutura de armazenamento

Conforme Baptista, Nascimento e Barraud (2015), o dimensionamento hidráulico da estrutura de armazenamento baseia-se no resultado do método apresentado no item 3.7.3.1, onde é determinado o volume de água a ser armazenado.

O dimensionamento das trincheiras deve considerar reduções de volume de armazenamento impostas pelo material granular de preenchimento, com a porosidade variando de acordo com a Tabela 10, bem como pela declividade longitudinal de implantação da trincheira. Com as equações apresentadas a seguir, obtêm-se o volume máximo de armazenamento conforme as diferentes configurações de uma trincheira de mesma dimensão.

Quando a declividade da trincheira for nula, conforme a Figura 16, o volume máximo que pode ser estocado na estrutura é obtido pela equação (23). Porém, em casos de terrenos pouco permeáveis, é desejável a introdução de ligeiras inclinações, maiores que 1%, no fundo da estrutura, afim de evitar a estagnação das águas.

Figura 16 – Configuração A - Seção longitudinal da trincheira



Fonte: Adaptado de Baptista, Nascimento e Barraud (2015)

$$S_{\max} = n \times l \times p \times L \quad (23)$$

onde:

S_{\max} : volume máximo de água [m³];

n : índice de porosidade [adimensional];

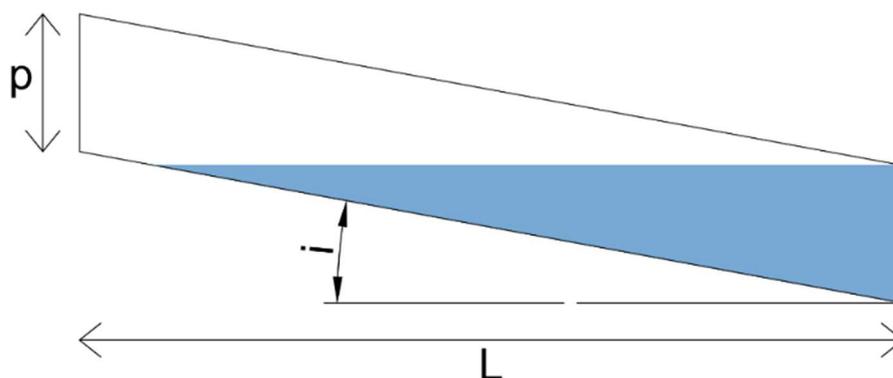
l : largura da trincheira [m];

p : profundidade da trincheira [m];

L : comprimento da trincheira [m].

Quando a configuração da trincheira satisfazer a condição imposta pela equação (24), conforme a Figura 17, o volume máximo que pode ser estocado na estrutura é obtido pela equação (25).

Figura 17 - Configuração B - Seção longitudinal da trincheira



Fonte: Adaptado de Baptista, Nascimento e Barraud (2015)

$$L \geq \frac{p}{i} \quad (24)$$

$$S_{\max} = \frac{n \times l \times p^2}{2 \times i} \quad (25)$$

onde:

S_{\max} : volume máximo de água [m³];

n : índice de porosidade [adimensional];

l : largura da trincheira [m];

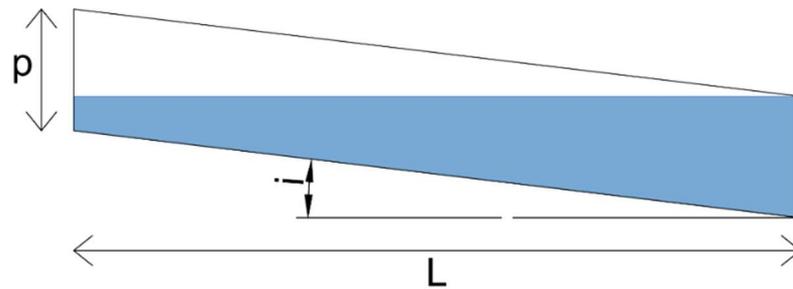
p : profundidade da trincheira [m];

L : comprimento da trincheira [m];

i : declividade longitudinal da trincheira [m/m].

E quando a configuração da trincheira satisfazer a condição imposta pela equação (26), conforme a Figura 18, o volume máximo que pode ser estocado na estrutura é obtido pela equação (27).

Figura 18 - Configuração C - Seção longitudinal da trincheira



Fonte: Adaptado de Baptista, Nascimento e Barraud (2015)

$$L < \frac{p}{i} \quad (26)$$

$$S_{\max} = n \times l \times \left(p - \frac{i \times L}{2} \right) \times L \quad (27)$$

onde:

S_{\max} : volume máximo de água [m³];

n : índice de porosidade [adimensional];

l : largura da trincheira [m];

p : profundidade da trincheira [m];

L : comprimento da trincheira [m];

i : declividade longitudinal da trincheira [m/m].

A dimensão final da trincheira deve satisfazer a seguinte condição:

$$S_{\text{solicitado}} \leq S_{\max} \quad (28)$$

onde:

$S_{\text{solicitado}}$: volume de água a ser armazenado [m³];

S_{\max} : volume máximo de água que a trincheira comporta [m³];

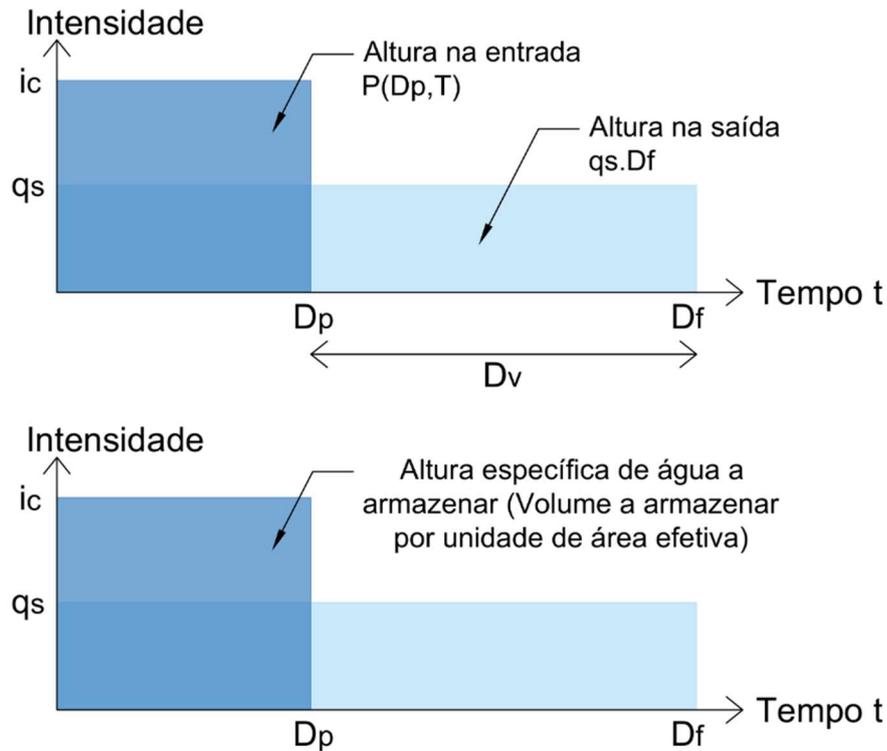
3.7.3.3 Estimativa do tempo de funcionamento e de esvaziamento

De acordo com Baptista, Nascimento e Barraud (2015), o tempo de funcionamento da estrutura corresponde ao intervalo de tempo que a água permanece no dispositivo.

Esse tempo pode ser calculado por meio da igualdade entre os volumes ou alturas de água, de entrada e saída. A modelagem corresponde a uma entrada

constante na bacia de intensidade $i_c = P(D_p, T)$ durante uma duração D_p . A estrutura esvazia-se durante uma duração D_f . Na Figura 19 é esquematizado o modelo utilizado no método das chuvas.

Figura 19 - Esquematização do modelo utilizado no método das chuvas



Fonte: Adaptado de Baptista, Nascimento e Barraud (2015)

Dessa forma, igualando as equações (29) e (30), obtêm-se a equação (31), no qual representa o tempo de funcionamento da estrutura.

$$PH_{entrada} = P(D_p, T) \quad (29)$$

$$PH_{saída} = q_s \times D_f \quad (30)$$

Igualando-as e isolando o termo D_f , obtêm-se:

$$D_f = \frac{P(D_p, T)}{q_s} \quad (31)$$

onde:

D_f : tempo de funcionamento da estrutura [min];

q_s : vazão específica de saída [mm/min];

$P(D_p, T)$: altura afluente associada à duração D_p [mm].

O tempo de esvaziamento pode ser estimado como o tempo necessário para escoar, a vazão constante, o volume armazenado. Dessa forma, com equação (32) é possível obter o tempo de esvaziamento da estrutura.

$$D_v = \frac{S_{\text{solicitado}}}{Q_s} = \frac{DP_{\text{max}}(q_s, T) \times A_a}{q_s \times A_a} = \frac{DP_{\text{max}}(q_s, T)}{q_s} \quad (32)$$

onde:

D_v : tempo de esvaziamento da estrutura [s];

$S_{\text{solicitado}}$: volume a armazenar [m³];

Q_s : vazão de saída [m³/s];

A_a : área efetiva de contribuição da bacia que alimenta as estruturas [m²];

$DP_{\text{max}}(q_s, T)$: altura específica a armazenar [m];

q_s : vazão específica de saída [m/s];

De maneira geral, Baptista, Nascimento e Barraud (2015) recomendam que o tempo de esvaziamento da estrutura deve ser estabelecido de forma que não supere 24 horas.

3.7.3.4 Compartimentalização das trincheiras

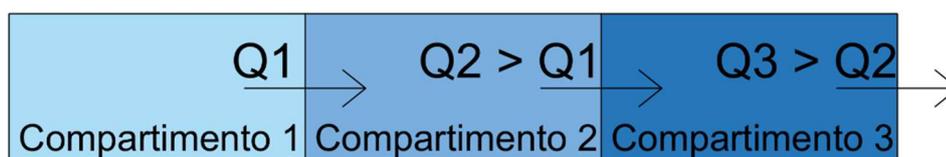
A compartimentalização das trincheiras, segundo Baptista, Nascimento e Barraud (2015), ocorre em casos de terrenos com significativas inclinações, tornando-se conveniente a implantação de divisórias dentro do corpo da trincheira, dividindo a estrutura em reservatórios menores, possibilitando o melhor aproveitamento do espaço de armazenamento das águas.

De acordo com Baptista, Nascimento e Barraud (2015), as divisórias entre os compartimentos podem ser constituídas por:

- a) geomembranas impermeáveis com características mecânicas que permitam resistir às agressões dos materiais de ambos os lados, e para a proteção da geomembrana, pode-se colocar em ambos os lados uma manta geotêxtil;
- b) muretas constituídas de materiais pouco permeáveis ou impermeáveis.

Conforme os autores, quando se implantam compartimentos em série, é necessário atentar para que a vazão de entrada em um compartimento, proveniente do compartimento superior, seja inferior à sua vazão de saída, direcionada ao compartimento de jusante, conforme ilustrado na Figura 20.

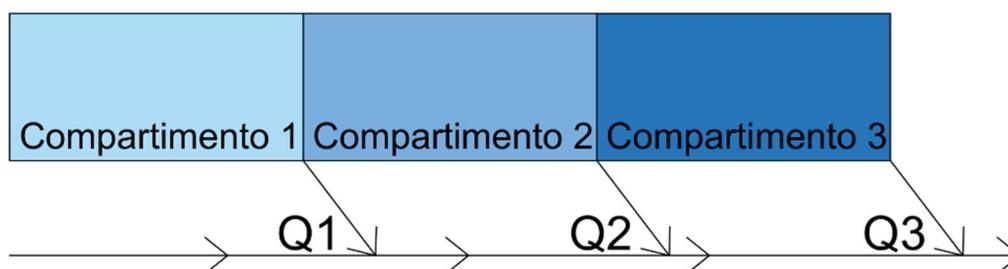
Figura 20 – Compartimentalização de trincheiras em série



Fonte: Adaptado de Baptista, Nascimento e Barraud (2015)

Esta restrição não existe no caso da ligação de trincheiras em paralelo, conforme a Figura 21.

Figura 21 - Compartimentalização de trincheiras em paralelo



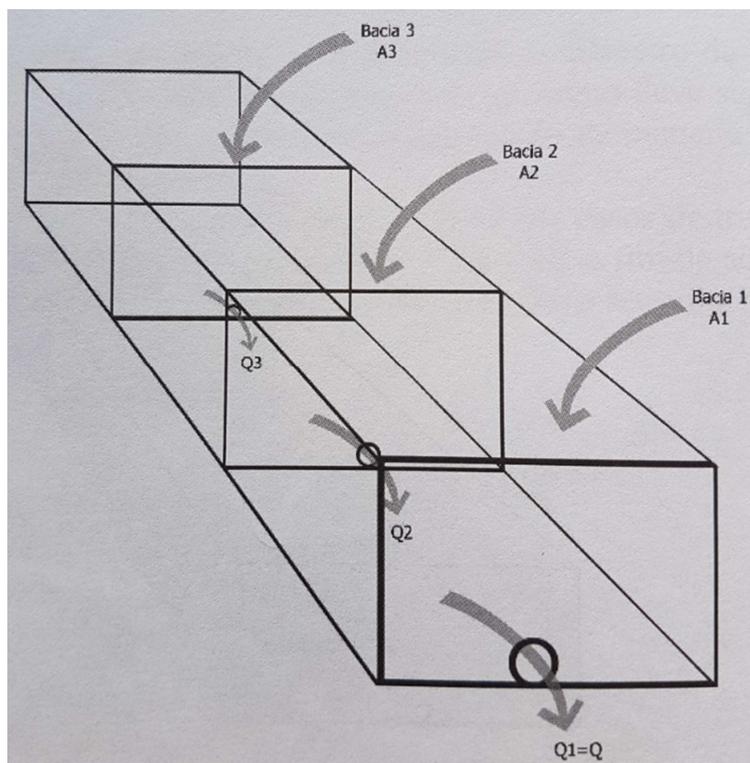
Fonte: Adaptado de Baptista, Nascimento e Barraud (2015)

onde:

Q_i : vazão de saída do reservatório i

Utilizando os métodos simplificados, pode-se adotar como vazão de saída de cada compartimento uma parte proporcional da vazão total de saída ponderada pelas respectivas superfícies de contribuição, conforme ilustrado na Figura 22. O dimensionamento dos orifícios é apresentado no item 3.7.3.5.

Figura 22 - Divisão de vazão de saída de diferentes compartimentos interligados em série



Fonte: Raimbault (1991) apud Baptista, Nascimento e Barraud (2015)

3.7.3.5 Dispositivos de descarga

Conforme Baptista, Nascimento e Barraud (2015), a regulação hidráulica das trincheiras de retenção é efetuada geralmente por um ou vários dispositivos do tipo orifício ou restrição de diâmetro do conduto de saída.

No dimensionamento dos orifícios é adotada as leis de descarga hidráulicas, sendo apresentadas a seguir algumas das equações mais utilizadas. Para determinar a vazão escoada por um orifício de parede fina, adota-se a equação (33).

$$Q = Cd \times As \times \sqrt{2 \times g \times (h - h_o)} \quad (33)$$

onde:

Q: vazão de saída [m³/s];

Cd: coeficiente de descarga;

As: área da seção do orifício [m²];

h: altura da água [m];

h_o: altura de posicionamento do orifício em relação ao eixo do mesmo [m];

g: aceleração da gravidade [m/s²].

De acordo com o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (2006), é recomendado a abertura dos furos variando entre 0,60mm a 10,00mm conforme o diâmetro da brita que envolver o tubo.

Conforme o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (2006), o cálculo do número mínimo de orifícios necessários para drenar uma determinada carga hidráulica é realizado com a equação (37), na qual considera uma carga hidráulica sob cada orifício de 0,10m e um coeficiente de descarga de 0,61.

$$N = \frac{Q}{0,85 \times A} \quad (34)$$

onde:

N: número mínimo de orifícios;

Q: vazão de saída [m³/s];

A: área de um dos orifícios [m²].

A equação (34) origina-se de uma adaptação da equação (33), na qual é acrescentado a variável N. Portanto, com a equação (35) é possível obter a quantidade de orifícios para diferentes cargas hidráulicas.

$$Q = Cd \times As \times N \times \sqrt{2 \times g \times h} \quad (35)$$

onde:

Q: vazão de saída [m³/s];

Cd: coeficiente de descarga;

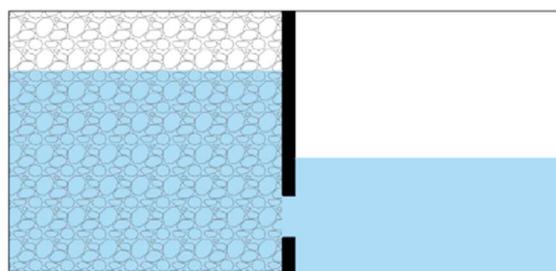
As: área da seção de cada um dos orifícios [m²];

N: quantidade de orifícios;

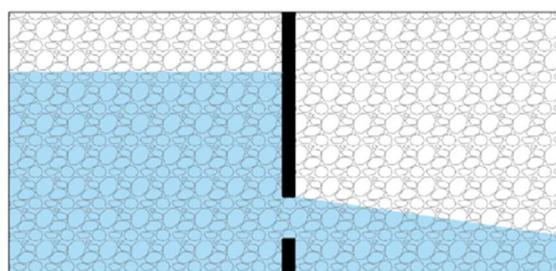
h: carga hidráulica sobre cada orifício [m].

Raimbault (1993) apud Baptista, Nascimento e Barraud (2015) realizou estudos para obter os coeficientes de coeficientes de descarga para orifícios de 15 a 45 milímetros nas configurações apresentadas pela Figura 23.

Figura 23 - Configuração de reservatório para estimativa de coeficientes



Reservatório de montante com seixos



Reservatório de montante e de jusante com seixos

Fonte: Adaptado de Baptista, Nascimento e Barraud (2015)

Com a permeabilidade dos materiais variando de 0,2 a 1,2 m/s e carga efetiva entre 0,05 e 0,50 metros, supondo regime de escoamento permanente e sem a compactação do material de preenchimento. Obteve-se na primeira configuração, com reservatório de montante preenchido com seixos, um coeficiente de descarga médio de 0,49, e na segunda configuração, com reservatório de montante e jusante preenchidos com seixos, foi obtido um coeficiente de descarga médio de 0,24.

3.8 PERMEABILIDADE DA ÁGUA EM MEIOS POROSOS

A infiltração é o processo pelo qual a água das chuvas, da neve derretida ou da irrigação penetra nas camadas superficiais do solo e se move para baixo em direção ao lençol d'água. A infiltração é um fenômeno complexo, difícil de ser determinado com exatidão e que varia no tempo e no espaço (TOMAZ, 2010).

Em 1856 estudando a permeabilidade na zona saturada, Henry Darcy concluiu que um filtro, conforme a Figura 24, comporta-se de acordo com a equação (36).

$$Q = K \times A \times \frac{\Delta H}{L} \quad (36)$$

Sendo:

Q: vazão constante que passa pelo cilindro [m³/s];

h1: carga hidráulica no piezômetro 1 [m];

h2: carga hidráulica no piezômetro 2 [m];

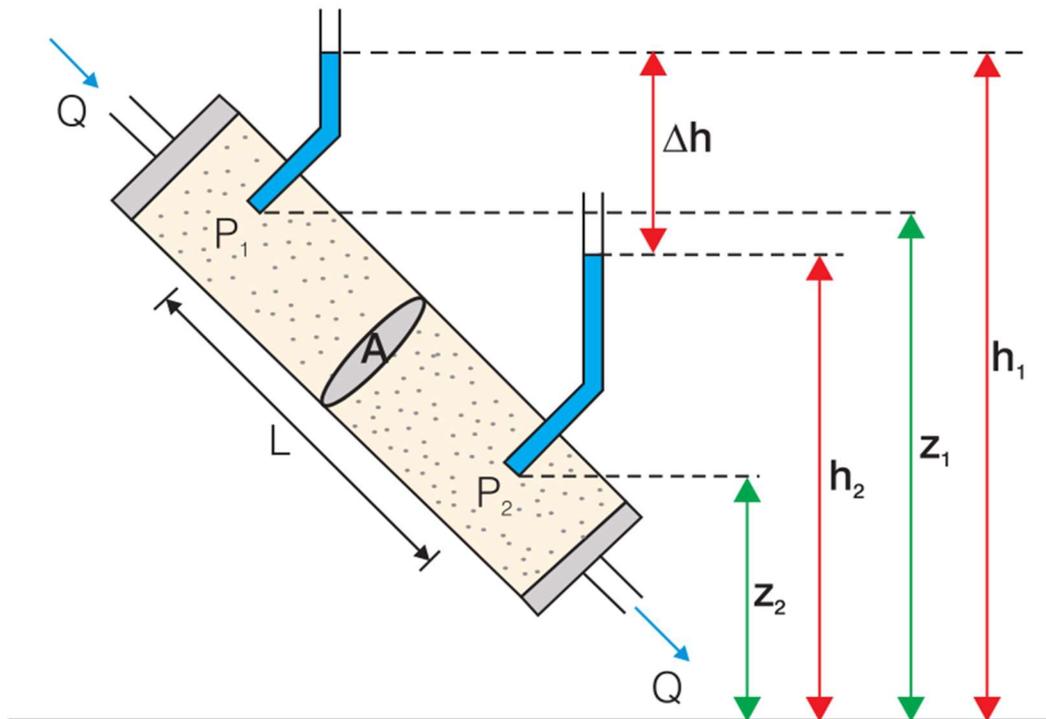
L: distância entre os piezômetros 1 e 2 [m];

A: área da seção transversal permeável do cilindro [m²];

ΔH : variação da carga hidráulica entre os piezômetros 1 e 2 [m];

K: condutividade hidráulica [m/s].

Figura 24 - Esboço esquemático do dispositivo usado por Darcy



Fonte: Jaime J. Silva Pereira Cabral (2008)

O Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (2006) estabelece os coeficientes de permeabilidade da água nos principais materiais aplicados em obras de drenagem. Na Tabela 13 são apresentados seus devidos valores.

Tabela 13 - Coeficientes de condutividade hidráulica K

Material	Granulometria	Condutividade Hidráulica K (m/s)
Brita 5	7,5cm a 10cm	1
Brita 4	5 a 7,5	0,6
Brita 3	2,5 a 5	0,45
Brita 2	2 a 2,5	0,25
Brita 1	1 a 2	0,15
Brita 0	0,5 a 1	0,05
Areia grossa	0,2 a 0,5	0,001
Areia fina	0,005 a 0,04	0,00001
Silte	0,0005 a 0,005	1E-07
Argila	Menor que 0,0005	1E-10

Fonte: Adaptado de Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (2006)

De acordo com Baptista, Nascimento e Barraud (2015), deve-se realizar a proteção das trincheiras contra a colmatação, para isso o autor sugere a instalação de mantas geotêxtis. Conforme Bidim Mexichem (2009), suas mantas geotêxtis possuem um coeficiente de permeabilidade (K) igual da areia grossa, logo possui um $K = 0,001$ m/s.

4 METODOLOGIA DE PESQUISA

Nesta etapa, é realizada a caracterização da área de estudo, apresentando as principais características a serem consideradas no desenvolvimento do projeto de drenagem pluvial. São também descritos os métodos de dimensionamento e análise que serão aplicados para o desenvolvimento dos mesmos.

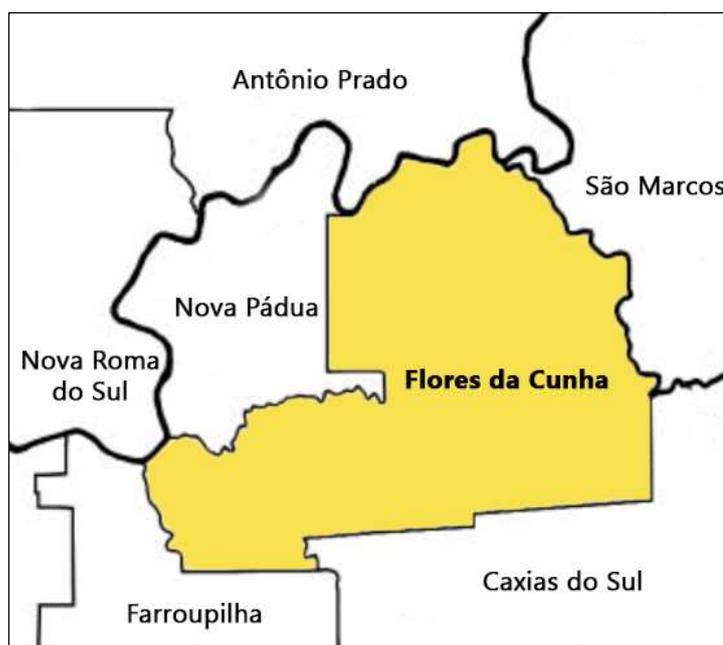
4.1 CARACTERÍSTICAS DA ÁREA DE ESTUDO

Desde o ano de 1876, o território que compõe o atual município de Flores da Cunha, passou a ser colonizado por imigrantes italianos, oriundos especialmente do Norte da Itália (FLORES DA CUNHA, 2008). O município de Flores da Cunha está localizado no estado do Rio Grande do Sul e pertence à microrregião de Caxias do Sul e mesorregião Nordeste Rio-Grandense, distando 150 km da capital Porto Alegre.

A área territorial de Flores da Cunha é de 272,60 km², com predominância da área rural, conta com uma população de 27.126 habitantes e apresenta uma densidade demográfica de 99,50 hab/km² (IBGE, 2010).

Os municípios vizinhos a Flores da Cunha são ao norte Antônio Prado, extremo sudoeste Nova Roma do Sul, a oeste Nova Pádua, a nordeste São Marcos, a sul e sudeste Caxias do Sul e a sul e sudoeste Farroupilha.

Figura 25 - Divisas políticas do município de Flores da Cunha



Fonte: Adaptado de Reginato e Ahlert (2013)

4.1.1 Aspectos legais

Conforme Flores da Cunha (2008), o empreendimento situa-se na zona urbana especial (ZUE), a qual é destinada a regularização fundiária com predominância residencial de baixa densidade.

Flores da Cunha (2008) determina que para a zona urbana especial, devem ser estabelecidas as intensidades de ocupação do solo através dos índices urbanísticos apresentados na Tabela 14, devendo atender aos parâmetros descritos abaixo.

- a) Índice de aproveitamento (IA): o quociente entre a área máxima construída e a área total do lote;
- b) Taxa de ocupação (TO): a relação entre a projeção horizontal máxima da edificação e a área total do lote;
- c) Taxa de permeabilidade (TP): percentual mínimo de área do terreno que deverá ser mantida permeável para garantir a drenagem urbana.

Tabela 14 - Índices urbanísticos

Zona	Parâmetros	Atividade							
		Residencial	Comercial e prestação de serviços			Indústria			Institucional
			Pequena	Média	Grande	Pequena	Média	Grande	
ZUE	TO	65,00%	75,00%	65,00%	-	65,00%	50,00%	-	50,00%
	IA	1,30%	1,50%	1,30%	-	1,30%	1,00%	-	2,00%
	TP	15,00%	15,00%	15,00%	-	15,00%	15,00%	-	15,00%

Fonte: Adaptado de Flores da Cunha (2008)

4.1.2 Localização do empreendimento

O loteamento em estudo situa-se na Rua das Rosas, S/N, bairro Nova Roma, Flores da Cunha, a Nordeste da cidade, próximo à divisa com o município de São Marcos, distando a aproximadamente 3,90 km do centro do município. A área de estudo localiza-se entre as coordenadas geográficas 29°1'20,17"S e 51°8'56,98"O. Situado a cerca de 710m de altura em relação ao nível do mar. Na Figura 26 é apresentada a localização do empreendimento e seu entorno.

Figura 26 - Localização da área de estudo



Fonte: Adaptado de Google Earth (2018)

4.1.3 Problemática de alagamentos na região

A região em que será implantado o novo loteamento, no bairro de Nova Roma, possui em seu histórico uma série de reclamações por parte de moradores devido aos constantes casos alagamentos.

Na Figura 27 é apresentada uma matéria do jornal local O Florense noticiando problemas gerados pelo excesso de chuvas na região, onde foram realizados diversos chamados ao corpo de bombeiros.

Figura 27 - Chuva em excesso expõe problemas estruturais

O FLORENSE NOTÍCIAS - MULTIMÍDIA - ASSINATURAS - O FLC

excesso expõe problemas estruturais

CHUVA EM EXCESSO EXPÕE PROBLEMAS ESTRUTURAIS

POR ANTONIO COLODA, CAMILA BAGGIO E FABIANO PROVIN | 02 DE MARÇO DE 2012 ÀS 01:36

Bombeiros receberam mais de 30 chamados
 No final da tarde do dia 25 o Corpo de Bombeiros de Flores da Cunha atendeu diversos chamados. Segundo o tenente Vanderlei da Silva, foram registradas mais de 30 ocorrências durante e após a forte chuva. Os locais com maior número de chamados foram o loteamento Pérola e as comunidades de São Cristóvão e Nova Roma. "Além desses locais, tivemos também telefonemas do Centro, onde alguns prédios tiveram suas garagens alagadas. No interior o Rio Tega transbordou, no caminho que vai até o distrito de Mato Perso", acrescenta o tenente.

Fonte: Adaptado do site do jornal O Florense (2018)

A Figura 28 traz uma solicitação do vereador municipal César Ulian, na qual ele realizou em uma seção da Câmara de Vereadores de Flores da Cunha, pedindo que sejam tomadas as devidas soluções para os constantes alagamentos da região do bairro Nova Roma.

Figura 28 - Poder legislativo exige soluções aos casos de alagamentos



Fonte: Adaptado do site Câmara de Vereadores de Flores da Cunha (2018)

Portanto, ao levar em conta os frequentes problemas relacionados a casos alagamentos na região, surge-se a ideia de desenvolver um projeto de drenagem que seja capaz de limitar os picos de vazão do empreendimento, gerando pelo mesmo apenas a vazão de pré-desenvolvimento da área.

Dessa forma, torna-se possível implantar o empreendimento de tal maneira que o mesmo não corra os riscos de agravar os alagamentos da região a jusante.

4.1.4 Caracterização do projeto do empreendimento

O projeto em estudo trata-se de um loteamento residencial, com 230 lotes, constituído em uma gleba com área total de 139.611,32 m². Conforme o projeto urbanístico em estudo, a classificação das áreas parceladas são apresentadas na Tabela 15.

Tabela 15 - Classificação das áreas parceladas

Lotes	Sistema viário	Uso público	APP
78.438,42 m ²	28.249,09 m ²	21.419,28 m ²	11.504,53 m ²

Fonte: Adaptado de Prosul Empreendimentos e Construções (2018)

Na Figura 29, é apresentado projeto do loteamento em estudo, possibilitando a visualização das áreas de lotes, o sistema viário, as áreas de uso público e a área de preservação permanente.

Figura 29 - Projeto do loteamento em estudo



Fonte: Prosul Empreendimentos e Construções (2018)

4.1.5 Clima e bioma

A localidade possui um clima subtropical ameno serrano, relativamente seco, com temperatura média anual de 15°C. As chuvas são bem distribuídas ao longo do ano, não sendo observados, normalmente, períodos muito intensos de seca. O bioma é caracterizado pela mata atlântica (FLORES DA CUNHA, 2015).

4.1.5.1 Curvas IDF da região

Conforme estudos realizados por Finotti, et al. (2009), foram determinadas as IDF (Intensidade – Duração – Frequência das chuvas) para quatro postos localizados na Bacias Caí e Taquari Antas, apresentados na Figura 30. Os postos de Farroupilha, Jansen, Nova Palmira e Vila Seca juntamente com as suas respectivas séries históricas de 41, 40, 52 e 30 anos de observação foram avaliadas.

A partir das séries dos postos foi determinada a série parcial de chuvas diárias máximas anuais, à qual foram ajustadas funções de distribuição de frequências e escolhida a de melhor ajuste. Através da função estatística ajustada foram obtidas as precipitações diárias máximas anuais para os períodos de retorno escolhidos de 2, 5,

10, 15, 25, 50 e 100 anos. Na Tabela 16 os autores apresentam as equações IDF obtidas no estudo.

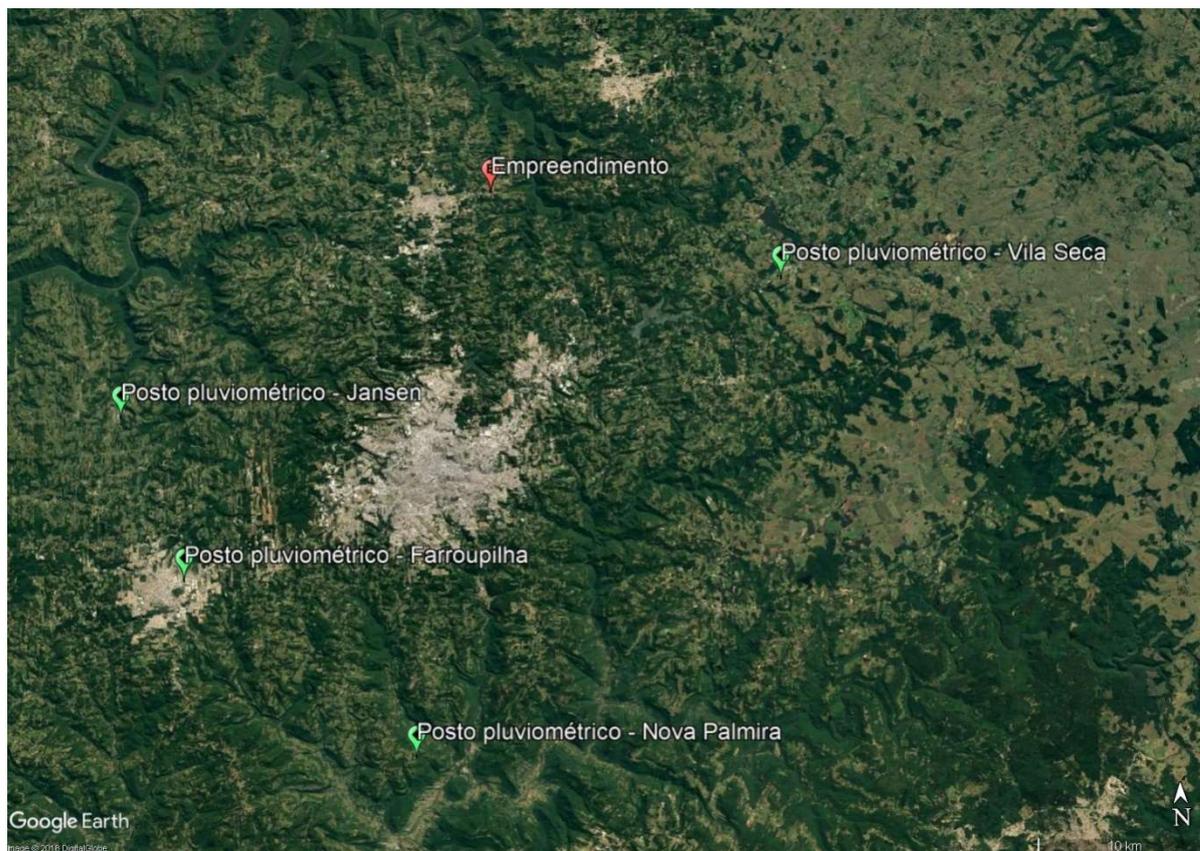
Tabela 16 - Equações IDF de Caxias do Sul e região

Postos	Equações
Farroupilha	$i = \frac{1060 \times T^{0,1975}}{(t + 11,5993)^{0,8071}} \quad (37)$
Jansen	$i = \frac{1060 \times T^{0,1997}}{(t + 11,5993)^{0,8071}} \quad (38)$
Nova Palmira	$i = \frac{1130 \times T^{0,195}}{(t + 11,5993)^{0,8071}} \quad (39)$
Vila Seca	$i = \frac{1140 \times T^{0,2215}}{(t + 11,5993)^{0,8071}} \quad (40)$

Fonte: Adaptado de Finotti, et al. (2009)

Ao analisar a localização dos postos pluviométricos no qual Finotti, et al (2009) desenvolveram seus estudos, através da Figura 30, é possível constatar que o posto pluviométrico da região de Vila Seca é o que se encontra mais próximo do empreendimento em estudo. Dessa forma, torna-se conveniente adotar aos estudos deste trabalho a equação IDF de Vila Seca.

Figura 30 - Postos pluviométricos de Caxias do Sul e região



Fonte: Adaptado de Google Earth (2018)

4.1.6 Características do solo

O tipo de solo da região do empreendimento é caracterizado como um argissolo, apresentando associações de solos do tipo argissolo acizentado, cambissolo itáplico e neossolo litólico. (FLORES, *et al.*, 2007)

De acordo com as características do solo existente na região do empreendimento, o solo possui uma taxa de infiltração muito baixa e alto potencial de escoamento superficial (SARTORI; NETO; GENOVEZ, 2005).

4.2 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE TRINCHEIRAS

Foram desenvolvidos dois projetos de drenagem compensatória baseado na aplicação de trincheiras de detenção preenchidas com brita N° 5 ao longo dos passeios públicos do loteamento.

No primeiro, é adotado um tempo de retorno de 5 anos e uma vazão máxima de saída estabelecida por Prefeitura de Porto Alegre (2005a), a qual corresponde a

uma vazão de pré-desenvolvimento da área. Tal projeto será denominado como TR5_POA. Destaca-se que neste projeto não foi considerada uma vazão de pré-desenvolvimento específica do município de Flores da Cunha devido a inexistência de estudos e legislações que a definam, portanto optou-se por considerar as restrições de vazões impostas pelo município de Porto Alegre.

No segundo projeto, é adotado um tempo de retorno de 5 anos e uma vazão máxima de saída idêntica a vazão de saída apresentada na planilha de cálculo do sistema convencional de drenagem, a qual foi fornecida pela empresa responsável do empreendimento. Tal projeto será denominado como TR5_CONV.

Em seguida, os resultados obtidos nos projetos TR5_POA e TR5_CONV foram comparados com o projeto de drenagem convencional, o qual o mesmo foi fornecido pela empresa responsável pelo empreendimento, avaliando a eficiência de drenagem, custo de implantação e impactos ambientais.

4.3 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE TRINCHEIRAS

Nesta etapa, foram desenvolvidos os projetos de drenagem TR5_POA e TR5_CONV, o qual é adotado em ambos, o sistema de drenagem com trincheiras de detenção.

4.3.1 Lançamento das trincheiras de detenção

Através dos dados obtidos do projeto urbanístico e do projeto de terraplenagem do sistema viário apresentado no Apêndice 1 – Planta 04, foi realizado o lançamento preliminar das trincheiras de detenção, sendo previstas trincheiras em ambos os lados da via pública, paralelas ao meio fio.

Em ambos os projetos TR5_POA e TR5_CONV, foram adotados o mesmo traçado, e também, em ambos os projetos foi considerado que as trincheiras sejam pavimentadas com blocos de concreto vazado preenchidos com brita nº 0, possibilitando a implantação de uma área de lazer sobre a estrutura de drenagem.

4.3.2 Coeficiente de escoamento superficial

Foi realizado o cálculo dos coeficientes de escoamento superficial que atuam na área de contribuição de cada uma das trincheiras através da equação (2), na qual é realizado uma média ponderada entre os coeficientes de escoamento superficial apresentados na Tabela 3 e suas respectivas áreas de abrangência.

Para a elaboração dos cálculos, adotou-se os coeficientes apresentados na Tabela 17.

Tabela 17 - Coeficientes de escoamento adotados

Características da área	Coeficiente de escoamento
Área permeável (15% da área de cada lote)	0,20
Área verde	0,10
Pavimentação da via pública (Blackets)	0,78
Área construída	0,95

Fonte: Adaptado de SUDERSHA (2002)

4.3.3 Dimensionamento das trincheiras de retenção

Baseia-se na ideia de captar a água das chuvas e retardar o escoamento das águas, conduzindo um determinado volume de água em um maior tempo possível até a rede pública pluvial. Os componentes do projeto foram desenvolvidos e dimensionados com base em bibliografias existentes, já que não há norma que regulamente o processo de cálculo. O processo de dimensionamento seguirá os seguintes passos:

- a) determinação da restrição da vazão de saída;
- b) cálculo da vazão específica de saída;
- c) cálculo da altura específica a ser armazenada;
- d) cálculo do volume de armazenamento solicitado;
- e) pré-dimensionamento e cálculo do volume máximo admissível pela trincheira;
- f) cálculo do tempo de funcionamento da estrutura;
- g) cálculo do tempo de esvaziamento;

- h) dimensionamento dos dispositivos de descarga;
- i) avaliação da capacidade de permeabilidade dos blocos vazados.

4.3.3.1 Determinação da restrição da vazão de saída

Neste item são realizados os cálculos para a vazão de restrição de saída para os projetos denominados TR5_POA e TR5_CONV.

4.3.3.1.1 Projeto TR5_POA

Para o projeto TR5_POA foi adotada uma vazão máxima de saída estabelecida por Prefeitura de Porto Alegre (2005a), na qual é obtida pela equação (14), que varia em função da área total do empreendimento, informada no item 4.1.4. Resultando em uma vazão total de pré-desenvolvimento de 0,29 m³/s.

Para a obtenção da vazão de pré-desenvolvimento que incide em cada um dos compartimentos das trincheiras, aplicou-se a equação (14) variando em função da área de contribuição que atua em cada um dos compartimentos das trincheiras. No item 4.3.3.6 é tratado sobre o método de obtenção das áreas de contribuição de cada um dos compartimentos.

4.3.3.1.2 Projeto TR5_CONV

Para o projeto TR5_CONV foi adotada uma vazão máxima de saída idêntica a vazão de saída apresentada na planilha de cálculo do sistema convencional de drenagem, no qual foi fornecida pela empresa responsável do empreendimento. Conforme as planilhas de cálculo, a vazão de saída é de 2,02 m³/s, na qual o projetista adota uma intensidade de precipitação constante de 121,62 mm/h e um coeficiente de escoamento superficial de 0,60.

Para fins de padronização dos cálculos deste trabalho, foi calculada a intensidade de precipitação com a equação (40), referente a equação IDF de Vila Seca, aplicando um tempo de retorno de 5 anos e tempo de duração de 10 minutos, resultando em 136,36 mm/h.

Com a intensidade obtida, fez-se uso da equação (1), referente ao Método Racional, na qual foi considerado a área total do empreendimento e a intensidade de

chuva calculada, assim, estipulou-se um coeficiente de escoamento superficial de tal forma que a vazão total escoada seja igual a 2,02 m³/s, resultando em um coeficiente de escoamento igual a 0,381.

A partir de então, para obter a vazão de saída de cada um dos compartimentos das trincheiras aplicou-se o Método Racional, considerando o coeficiente de escoamento de 0,381 e a intensidade de chuvas de 136,36 mm/h, variando a área de contribuição que atua em cada um dos compartimentos.

4.3.3.2 Cálculo da vazão específica de saída

A vazão específica de saída foi calculada por meio da equação (17), que varia em função da vazão de restrição e da área efetiva de drenagem. A área efetiva de drenagem foi obtida através da equação (18), que é o produto entre o coeficiente de escoamento superficial e a área da bacia de contribuição.

4.3.3.3 Cálculo da altura específica a ser armazenada

O cálculo da altura específica é realizado através do método das chuvas. Por esse método, a curva dos volumes afluentes ao dispositivo é comparada com a reta dos volumes dele efluentes, e a máxima diferença entre as duas linhas é altura específica a ser armazenada.

Inicialmente foram calculadas as intensidades de chuva para uma determinada série de tempo de duração. E em seguida, foi determinada a curva afluente através da equação (19), que consiste em ser o produto entre a intensidade calculada pela equação IDF e a respectiva duração. E a reta efluente foi obtida por meio da equação (20), que consiste em ser o produto entre a vazão específica de saída e a respectiva série de tempo de duração.

4.3.3.4 Cálculo do volume de armazenamento solicitado

O volume de armazenamento solicitado foi calculado por meio da equação (22), que consiste em ser o produto entre a altura específica e a área efetiva de drenagem.

4.3.3.5 Cálculo do volume máximo admissível

A capacidade de armazenamento das trincheiras foi calculada em função da porosidade do material de preenchimento, largura, profundidade, comprimento e declividade das trincheiras.

Conforme varia o comprimento, profundidade e declividade das trincheiras, o volume máximo admissível é calculado com as equações (23), (25) ou (27).

Foi considerado um índice de porosidade do material de preenchimento igual à 0,40, conforme Tabela 10. Para fins de segurança e viabilidade executiva, optou-se em adotar que o volume máximo admissível deva ser 10% superior ao volume de armazenamento solicitado.

Com apoio de tabelas programáveis do Excel, foram testadas diferentes dimensões de trincheira, até que o volume máximo admissível da mesma seja 10% superior ao volume de armazenamento solicitado. Nos casos que não foi possível obter dimensões exequíveis, implantou-se determinadas quantidades de divisórias impermeáveis ao longo da trincheira, formando compartimentos de armazenamento dentro da mesma, elevando a capacidade de armazenamento da trincheira.

4.3.3.6 Compartimentalização das trincheiras

Nos casos em que não foi possível obter o volume de armazenamento solicitado das trincheiras, as mesmas foram compartimentalizadas até que atinjam a capacidade ideal.

Para fins de simplificação do processo de dimensionamento, a área de contribuição que incide em cada um dos compartimentos é calculada pela simples divisão entre a área total de contribuição que atua na respectiva trincheira e o número de compartimentos nela existentes.

4.3.3.7 Cálculo do tempo de funcionamento da estrutura

O tempo de funcionamento da estrutura foi determinado pela equação (31), que consiste em ser o quociente entre o valor da curva PDF respectivo ao tempo de duração de onde ocorre a máxima diferença entre as linhas da curva afluenta e a reta efluente, e a vazão específica de saída.

4.3.3.8 Cálculo do tempo de esvaziamento

O cálculo do tempo de esvaziamento foi determinado através da equação (32), que consiste em ser o quociente entre a altura específica a ser armazenada e a vazão específica de saída. O tempo de esvaziamento não deve exceder 24 horas, caso ultrapasse, a trincheira deve ser redimensionada.

4.3.3.9 Dimensionamento dos dispositivos de descarga

Considerou-se que os compartimentos das trincheiras serão conectados a uma rede de tubulação principal localizada no fundo das trincheiras, percorrendo toda a extensão das mesmas, dessa forma a compartimentalização das trincheiras obedece a Figura 21, onde todos os compartimentos são interligados em paralelo.

Foi realizado o dimensionamento dos condutos da rede de principal localizados no fundo das trincheiras, e também, determinados os diâmetros e a quantidade de orifícios necessários para captar a água de cada um dos compartimentos das trincheiras.

4.3.3.9.1 Dimensionamento do diâmetro da tubulação

Os compartimentos das trincheiras foram conectados a uma rede de tubulação principal localizada no fundo das trincheiras, percorrendo toda a extensão das mesmas, assim os compartimentos das trincheiras são interligados em paralelo a rede de tubulação.

O dimensionamento do diâmetro das tubulações foi realizado através do mesmo método adotado em dimensionamentos de tubulações aplicadas em sistemas de drenagem convencional, apresentado no item 3.5.4. Considerou-se que a vazão escoada em cada um dos trechos é a vazão de saída calculada em cada uma das respectivas trincheiras somadas às vazões de contribuições das trincheiras a montante do respectivo trecho.

Adotou-se neste trabalho tubulações de PVC DN150 e DN200, e tubulações em PEAD DN250, DN300, DN450, DN600 e DN750, sendo considerado um coeficiente de rugosidade igual a 0,011.

4.3.3.9.2 Dimensionamento dos orifícios

Com base na equação (35), considerou-se uma carga hidráulica igual a altura média de água dentro da trincheira e um coeficiente de descarga obtido por Raimbault (1993) apud Baptista, Nascimento e Barraud (2015), sendo igual a 0,49. Calculou-se, com o apoio de tabelas programáveis do Excel, o diâmetro e a quantidade de orifícios necessários para escoar a vazão de restrição solicitada em cada um dos compartimentos das trincheiras.

A altura média da carga hidráulica foi calculada considerando a profundidade das trincheiras, assim estabeleceu-se uma média de altura da lâmina d'água entre as extremidades dos compartimentos, variando em função da inclinação e comprimento do compartimento das trincheiras. Os orifícios devem estar localizados da metade para cima da seção da tubulação, formando assim uma calha de escoamento.

4.3.3.10 Avaliação da capacidade de permeabilidade da superfície

Avaliou-se de forma simplificada, a capacidade de permeabilidade dos materiais que revestem a superfície da trincheira. Os materiais avaliados foram os blocos de concreto vazado preenchidos por brita nº 0 e a manta geotêxtil de proteção contra a colmatação.

Para a avaliação, adotou-se a equação (36), referente a Lei de Darcy, onde considerou-se uma carga hidráulica de 0,10m, e espessura do meio poroso de 0,20 m e 0,004 m, para brita nº 0 e manta geotêxtil, respectivamente. Para determinar a área drenante da superfície de cada trincheira, considerou-se a extensão total de cada uma das mesmas e uma largura fixa de 1,2 m. A área efetiva de drenagem dos pavimentos de blocos vazados é de 0,5765 m²/m².

A vazão calculada pela Lei de Darcy é a vazão que permeia no meio poroso, logo, esta deve ser superior a vazão escoada na superfície. A vazão escoada na superfície foi obtida através do Método Racional, onde considerou-se uma intensidade de chuvas igual a 136,36 mm/h (obtida através da IDF de Vila Seca adotando um tempo de retorno de 5 anos e um tempo de duração de 10 min), a área de contribuição que incide no compartimento da trincheira em análise e o coeficiente de escoamento referente a área de contribuição que incide na trincheira em análise.

4.4 LEVANTAMENTO DOS CUSTOS DE IMPLANTAÇÃO

Para realizar a análise comparativa dos custos de implantação e manutenção de cada um dos projetos, foram desenvolvidas planilhas de orçamento, onde materiais a serem implantados e os serviços a serem executados em cada projeto serão especificados e quantificados.

Em seguida, para estimar seus custos unitários, foi utilizado como fonte de orçamento o Sistema Nacional de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI), adotando as tabelas de julho de 2018, com encargos sociais desonerados.

5 RESULTADOS

5.1 DESCRIÇÃO GERAL DO SISTEMA DE TRINCHEIRAS

As trincheiras de retenção funcionam como um sistema de armazenamento temporário das águas pluviais. Elas armazenam os volumes de água precipitados e o distribuem em um maior intervalo de tempo, reduzindo os picos de vazão a jusante do sistema de drenagem.

Para captar o escoamento superficial e armazenar as águas, foram implantadas trincheiras de retenção ao longo das vias públicas do loteamento, paralelas ao meio fio, em ambos os lados da pista. Devido as inclinações das vias é necessário implantar divisórias impermeáveis ao longo da trincheira, elevando a capacidade de armazenamento do sistema. Para conter a colmatção dos poros de armazenamento das trincheiras, é necessário revestir todas as faces da mesma com uma manta geotêxtil. Na Figura 31 e Figura 32 é apresentado uma seção típica do sistema proposto integrado nas vias públicas do loteamento.

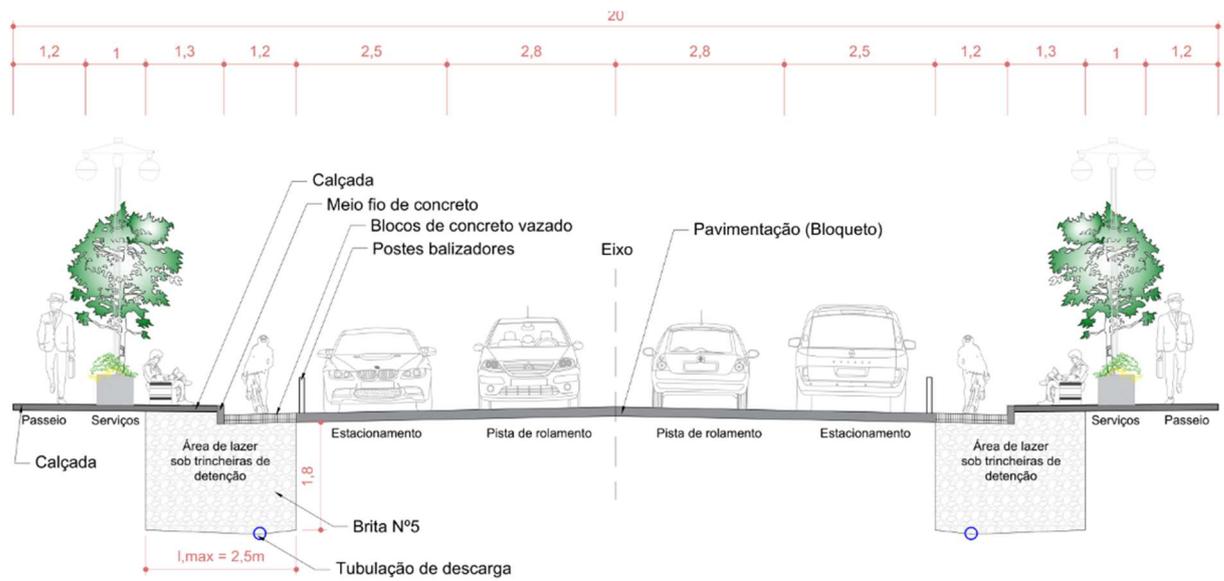
Para realizar a implantação das trincheiras de retenção é necessário ampliar a largura das vias públicas. Considerou-se então o caso mais crítico, onde as trincheiras ocupam maior espaço em planta. Dessa forma, adotou-se que as vias principais originalmente de 16,0 m passam a ter 20,0 m de largura, e as vias secundárias passam de 13,0 m para 17,0 m de largura. No Apêndice 1 – Planta 01 e 02 são apresentados os gabaritos originais das vias públicas e os gabaritos adaptados ao sistema de trincheiras.

Na área superficial das trincheiras buscou-se destinar o espaço para fins de lazer, e para isso a superfície é pavimentada com blocos de concreto vazado preenchidos com brita nº 0, possibilitando a infiltração das águas precipitadas, na Figura 33 é ilustrado um trecho deste espaço. Essa área deve ser isolada da pista que circulam os veículos, pois conseqüentemente contribuiriam para a compactação da superfície permeável, reduzindo a capacidade de infiltração e armazenamento do sistema.

No fundo das trincheiras implantou-se uma tubulação com a finalidade de captar as águas armazenadas pelas trincheiras e controlar a vazão de descarga a jusante. Para efetuar o controle da descarga das águas armazenadas considerou-se a perfuração de orifícios nas tubulações, cujos orifícios localizam-se nas regiões mais

baixas de cada um dos compartimentos das trincheiras, e foram dimensionados para possuir a capacidade de vazão de saída determinada para cada um dos compartimentos, a vazão de saída de cada um dos compartimentos depende do tamanho da sua área de contribuição.

Figura 31 - Seção típica do sistema integrado de trincheiras



Fonte: o autor

Figura 32 - Seção típica do sistema integrado de trincheiras



Fonte: o autor

Após as águas armazenadas nas trincheiras serem captadas pelos orifícios e conduzidas para o interior da tubulação, as águas escoam pelos condutos até o exutório do loteamento.

A configuração de ligação entre compartimentos e tubulação de descarga caracteriza-se como uma ligação paralela, onde o compartimento a montante não exerce influência no compartimento a jusante. Sempre que ocorrem conexões entre dois ramos de tubulações, da mesma maneira que em sistemas convencionais, considera-se a implantação de um poço de visita. Os poços de visita foram dimensionados de acordo com o projeto apresentado no Apêndice 1 – Planta 12.

Figura 33 - Área de lazer implantada sobre trincheira de detenção



Fonte: o autor

5.2 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE TRINCHEIRAS

Neste item são apresentados os resultados do dimensionamento dos projetos TR5_POA e TR5_CONV, no qual obteve-se as profundidades, larguras e quantidades de divisórias das trincheiras de detenção, a quantidade e diâmetro dos condutos de drenagem e a quantidade e diâmetro dos orifícios de captação das águas.

5.2.1 Parâmetros gerais de dimensionamento

Na Tabela 18 são apresentadas as áreas de contribuição que incidem em cada uma das trincheiras e seus respectivos coeficientes de escoamento, tais valores são adotados para ambos os projetos, TR5_POA e TR5_CONV.

Tabela 18 – Coeficientes de escoamento e áreas de contribuição

ID	C_{esc}	A_{contribuição} (m²)	ID	C_{esc}	A_{contribuição} (m²)
T1	0,60	5.468,10	T21	0,82	3.402,15
T2	0,82	1.624,20	T22	0,82	1.403,10
T3	0,82	2.085,80	T23	0,82	3.593,24
T4	0,82	1.912,60	T24	0,36	11.504,06
T5	0,82	2.975,60	T25	0,25	14.772,05
T6	0,82	3.419,10	T26	0,75	2.739,89
T7	0,82	1.515,60	T27	0,82	2.105,03
T8	0,82	3.422,20	T28	0,25	13.570,82
T9	0,82	3.419,10	T29	0,82	3.217,02
T10	0,82	1.528,50	T30	0,82	1.490,92
T11	0,82	3.615,40	T31	0,82	3.217,02
T12	0,82	3.618,70	T32	0,82	3.044,83
T13	0,82	1.528,40	T33	0,82	1.491,17
T14	0,82	3.433,55	T34	0,82	3.044,83
T15	0,82	3.437,76	T35	0,82	3.212,72
T16	0,82	1.528,67	T36	0,82	1.279,12
T17	0,82	3.627,56	T37	0,82	3.212,72
T18	0,82	3.584,06	T38	0,82	3.099,35
T19	0,82	1.403,26	T39	0,82	1.292,14
T20	0,82	3.399,39	T40	0,82	2.402,98

Fonte: o autor

Na Tabela 19 são apresentados os comprimentos e as inclinações das trincheiras de detenção, cujos valores são adotados em ambos os projetos, TR5_POA e TR5_CONV.

Tabela 19 - Comprimento e declividade das trincheiras

ID	L _{trincheira} (m)	i (m/m)	ID	L _{trincheira} (m)	i (m/m)
T1	105,0	0,0098	T21	115,0	0,0220
T2	57,0	0,0378	T22	52,0	0,0445
T3	68,0	0,0378	T23	116,0	0,0313
T4	75,0	0,0124	T24	100,0	0,0098
T5	111,0	0,0761	T25	89,0	0,0124
T6	121,0	0,0761	T26	74,0	0,0808
T7	52,0	0,0808	T27	56,0	0,0803
T8	121,0	0,0801	T28	115,0	0,0463
T9	121,0	0,0801	T29	115,0	0,0463
T10	52,0	0,0803	T30	52,0	0,0800
T11	126,0	0,0212	T31	108,0	0,0590
T12	126,0	0,0212	T32	108,0	0,0590
T13	52,0	0,0800	T33	52,0	0,0600
T14	121,0	0,0071	T34	113,0	0,0581
T15	121,0	0,0071	T35	113,0	0,0581
T16	52,0	0,0600	T36	52,0	0,0207
T17	126,0	0,0138	T37	99,0	0,0497
T18	126,0	0,0138	T38	99,0	0,0497
T19	52,0	0,0207	T39	52,0	0,0445
T20	115,0	0,0220	T40	88,0	0,0313

Fonte: o autor

As declividades das ruas do loteamento em estudo variam entre uma mínima de 0,0071 m/m e uma máxima de 0,0808 m/m, apresentando uma média ponderada pelo comprimento de cada trecho de 0,0421 m/m.

No Apêndice 1 – Planta 03 é apresentada a locação das trincheiras e as respectivas áreas de contribuição e seus coeficientes de escoamento. E no Apêndice 1 – Planta 04 são apresentados os perfis longitudinais de terraplenagem do sistema viário.

5.2.2 Projeto TR5_POA

Para o projeto TR5_POA estabeleceu-se um pico de vazão de saída no exutório do loteamento conforme a equação (14), que determina uma vazão de pré-desenvolvimento da área, na qual para a área em estudo resultou-se em 0,29 m³/s.

Dessa forma, o sistema de trincheiras de detenção deve ter a capacidade de armazenar as águas precipitadas e controlar sua descarga de tal maneira que o pico de vazão no exutório do loteamento não ultrapasse 0,29 m³/s.

5.2.2.1 Compartimentalização das trincheiras

Devido a declividade existente das vias de onde irão ser implantadas as trincheiras de detenção tornou-se necessária a compartimentalização das trincheiras. Para isso, foram lançadas divisórias impermeáveis ao longo das trincheiras, segmentando as mesmas, elevando a capacidade de armazenamento da trincheira. O número de divisórias foi definido de acordo com a necessidade de cada trincheira, onde sempre que possível elevou-se a quantidade de compartimentos invés da largura da trincheira.

Conforme apresentado no item 4.3.3.6, para fins de simplificação do processo de dimensionamento das trincheiras, a área de contribuição que incide em cada um dos compartimentos foi calculada pela simples divisão da área total de contribuição que atua na respectiva trincheira e o número de compartimentos necessários para o armazenamento das águas. No Apêndice 1 – Planta 09 é apresentado um detalhamento da disposição das divisórias impermeáveis.

Foi estipulado uma perda de 0,25 m de comprimento da trincheira a cada compartimento lançado, em virtude de possíveis falhas de posicionamento das geomembranas.

Na Tabela 20 são apresentados as quantidades necessárias de compartimentos por trincheira, a área de contribuição efetiva e o comprimento de cada um dos compartimentos das respectivas trincheiras.

Tabela 20 - Quantidade e comprimento dos compartimentos e suas áreas de contribuição

ID	N _{compartim.}	A _{efetiva} (m ²)	L _{compartimen} to (m)	ID	N _{compartim.}	A _{efetiva} (m ²)	L _{compartimento} (m)
T1	4	818,13	26,06	T21	7	400,46	16,21
T2	5	267,65	11,20	T22	4	289,02	12,81
T3	5	343,72	13,40	T23	7	422,95	16,36
T4	2	787,95	37,38	T24	5	817,14	19,80
T5	14	175,13	7,70	T25	3	1237,40	29,50
T6	22	128,05	5,26	T26	10	206,63	7,18
T7	7	178,40	7,21	T27	13	133,42	4,08
T8	24	117,49	4,80	T28	7	487,19	16,21
T9	24	117,38	4,80	T29	11	240,97	10,23
T10	7	179,92	7,21	T30	13	94,50	3,77
T11	6	496,49	20,79	T31	10	265,07	10,58
T12	6	496,94	20,79	T32	14	179,20	7,48
T13	7	179,90	7,21	T33	8	153,58	6,28
T14	7	404,15	17,07	T34	11	228,07	10,05
T15	7	404,65	17,07	T35	15	176,48	7,30
T16	13	96,89	3,77	T36	2	526,97	25,88
T17	4	747,23	31,31	T37	16	165,45	5,95
T18	4	738,27	31,31	T38	11	232,16	8,77
T19	4	289,05	12,81	T39	5	212,93	10,20
T20	7	400,13	16,21	T40	5	395,99	17,40

Fonte: o autor

Ao todo, é necessário implantar no projeto TR5_POA um total 356 compartimentos.

A trincheira que exige menor quantidade de compartimentos é a T36, sendo necessário apenas dois compartimentos de 25,88 m de comprimento. A trincheira que exige a maior quantidade de compartimentos é a T8 e T9, sendo necessário implantar 24 compartimentos de 19,80m de comprimento.

Conforme os resultados, a declividade da trincheira influencia diretamente na quantidade necessária de compartimentos para armazenar um determinado volume de água, pois quanto maior a declividade da trincheira, menor é a capacidade de

armazenamento e conseqüentemente mais compartimentos devem ser executados na mesma.

5.2.2.2 Dimensionamento das trincheiras

Para armazenar as águas precipitadas e efetuar a sua descarga de forma controlada é necessário dimensionar as trincheiras de detenção de tal forma que as mesmas sejam capazes de armazenar o máximo volume de água determinado pelo método das chuvas, na qual é avaliado as alturas da lâmina d'água das águas afluentes e efluentes.

Na Tabela 21 é apresentada a vazão de saída de pré-desenvolvimento de cada um dos compartimentos instalados em cada trincheira, a vazão de pré-desenvolvimento total de saída da respectiva trincheira e a vazão específica de saída para cada compartimento das trincheiras.

Tabela 21 – Vazão total de saída e vazão específica de saída

(continua)

ID	Q_{pd}	Q_{pd}	$q, S_{compart.}$ (m/s)	ID	Q_{pd}	Q_{pd}	$q, S_{compart.}$ (m/s)
	compartimento (m ³ /s)	trincheira (m ³ /s)			compartimento (m ³ /s)	trincheira (m ³ /s)	
T1	0,0028	0,011	3,48x10 ⁻⁶	T21	0,0010	0,007	2,52x10 ⁻⁶
T2	0,0007	0,003	2,52x10 ⁻⁶	T22	0,0007	0,003	2,52x10 ⁻⁶
T3	0,0009	0,004	2,52x10 ⁻⁶	T23	0,0011	0,007	2,52x10 ⁻⁶
T4	0,0020	0,004	2,52x10 ⁻⁶	T24	0,0048	0,024	5,86x10 ⁻⁶
T5	0,0004	0,006	2,52x10 ⁻⁶	T25	0,0102	0,031	8,28x10 ⁻⁶
T6	0,0003	0,007	2,52x10 ⁻⁶	T26	0,0006	0,006	2,76x10 ⁻⁶
T7	0,0005	0,003	2,52x10 ⁻⁶	T27	0,0003	0,004	2,52x10 ⁻⁶
T8	0,0003	0,007	2,52x10 ⁻⁶	T28	0,0040	0,028	8,28x10 ⁻⁶
T9	0,0003	0,007	2,52x10 ⁻⁶	T29	0,0006	0,007	2,52x10 ⁻⁶
T10	0,0005	0,003	2,52x10 ⁻⁶	T30	0,0002	0,003	2,52x10 ⁻⁶
T11	0,0013	0,008	2,52x10 ⁻⁶	T31	0,0007	0,007	2,52x10 ⁻⁶
T12	0,0013	0,008	2,52x10 ⁻⁶	T32	0,0005	0,006	2,52x10 ⁻⁶
T13	0,0005	0,003	2,52x10 ⁻⁶	T33	0,0004	0,003	2,52x10 ⁻⁶
T14	0,0010	0,007	2,52x10 ⁻⁶	T34	0,0006	0,006	2,52x10 ⁻⁶

(conclusão)

ID	Q_{pd}	Q_{pd}	$q, S_{compart.}$ (m/s)	ID	Q_{pd}	Q_{pd}	$q, S_{compart.}$ (m/s)
	compartimento (m ³ /s)	trincheira (m ³ /s)			compartimento (m ³ /s)	trincheira (m ³ /s)	
T15	0,0010	0,007	$2,52 \times 10^{-6}$	T35	0,0004	0,007	$2,52 \times 10^{-6}$
T16	0,0002	0,003	$2,52 \times 10^{-6}$	T36	0,0013	0,003	$2,52 \times 10^{-6}$
T17	0,0019	0,008	$2,52 \times 10^{-6}$	T37	0,0004	0,007	$2,52 \times 10^{-6}$
T18	0,0019	0,007	$2,52 \times 10^{-6}$	T38	0,0006	0,006	$2,52 \times 10^{-6}$
T19	0,0007	0,003	$2,52 \times 10^{-6}$	T39	0,0005	0,003	$2,52 \times 10^{-6}$
T20	0,0010	0,007	$2,52 \times 10^{-6}$	T40	0,0010	0,005	$2,52 \times 10^{-6}$

Fonte: o autor

A vazão $Q_{pd, trincheira}$ refere-se a vazão $Q_{pd, compartimento}$ multiplicada pela quantidade de compartimentos existentes na respectiva trincheira, o somatório das vazões $Q_{pd, trincheira}$ de todas as trincheiras resultam em 0,29 m³/s, valor igual a vazão de pré-desenvolvimento da área de implantação do loteamento em estudo.

Após a vazão específica de saída de cada compartimento ser obtida é possível aplicar o método das chuvas, afim de obter a altura máxima da lâmina d'água sobre a respectiva área de contribuição.

Na Tabela 22 são apresentados os resultados da aplicação do método das chuvas, retornando uma altura de lâmina d'água da curva afluente (PDT) e uma altura da lâmina d'água da curva efluente (qS) referentes ao tempo D_p , que refere-se ao tempo que ocorre a máxima diferença de valor entre a curva afluente e efluente, ou seja, quando atinge a máxima lâmina d'água sobre a área de contribuição. Na mesma tabela, a máxima diferença entre as curvas é apresentada na coluna DP_{max} , e o volume solicitado de armazenamento para cada compartimento da trincheira é apresentado na coluna $S_{solicitado, compartimento}$, sendo resultado da multiplicação entre DP_{max} e $A_{efetiva}$.

Tabela 22 – Volume de armazenamento solicitado por compartimento

(continua)

ID	PDT (m)	qS (m)	Dp (min)	DP _{max} (m)	S _{solic,compartimento} (m ³)
T1	0,0567	0,0167	80	0,040	32,70
T2	0,0620	0,0167	110	0,045	12,13
T3	0,0620	0,0167	110	0,045	15,58
T4	0,0620	0,0167	110	0,045	35,71
T5	0,0620	0,0167	110	0,045	7,94
T6	0,0620	0,0167	110	0,045	5,80
T7	0,0620	0,0167	110	0,045	8,08
T8	0,0620	0,0167	110	0,045	5,32
T9	0,0620	0,0167	110	0,045	5,32
T10	0,0620	0,0167	110	0,045	8,15
T11	0,0620	0,0167	110	0,045	22,50
T12	0,0620	0,0167	110	0,045	22,52
T13	0,0620	0,0167	110	0,045	8,15
T14	0,0620	0,0167	110	0,045	18,31
T15	0,0620	0,0167	110	0,045	18,34
T16	0,0620	0,0167	110	0,045	4,39
T17	0,0620	0,0167	110	0,045	33,86
T18	0,0620	0,0167	110	0,045	33,45
T19	0,0620	0,0167	110	0,045	13,10
T20	0,0620	0,0167	110	0,045	18,13
T21	0,0620	0,0167	110	0,045	18,15
T22	0,0620	0,0167	110	0,045	13,10
T23	0,0620	0,0167	110	0,045	19,17
T24	0,0488	0,0176	50	0,031	25,50
T25	0,0428	0,0174	35	0,025	31,41
T26	0,0604	0,0165	100	0,044	9,06
T27	0,0620	0,0167	110	0,045	6,05
T28	0,0428	0,0174	35	0,025	12,37
T29	0,0620	0,0167	110	0,045	10,92

(conclusão)

ID	PDT (m)	qS (m)	Dp (min)	DP _{,max} (m)	S _{,solic,compartmento} (m ³)
T30	0,0620	0,0167	110	0,045	4,28
T31	0,0620	0,0167	110	0,045	12,01
T32	0,0620	0,0167	110	0,045	8,12
T33	0,0620	0,0167	110	0,045	6,96
T34	0,0620	0,0167	110	0,045	10,33
T35	0,0620	0,0167	110	0,045	8,00
T36	0,0620	0,0167	110	0,045	23,88
T37	0,0620	0,0167	110	0,045	7,50
T38	0,0620	0,0167	110	0,045	10,52
T39	0,0620	0,0167	110	0,045	9,65
T40	0,0620	0,0167	110	0,045	17,94

Fonte: o autor

Somando o volume solicitado de armazenamento de todos os compartimentos das trincheiras, o volume total é de 3.949,26 m³.

Os maiores volumes solicitados são dos compartimentos da trincheira T4, na qual está sobre uma área de contribuição efetiva de 787,95 m², sendo necessário armazenar 35,71 m³ de água em cada compartimento.

Os menores volumes solicitados são dos compartimentos da trincheira T30, na qual está sobre uma área de contribuição efetiva de 94,50 m², sendo necessário armazenar 4,28 m³ de água em cada compartimento.

A área efetiva de contribuição e a vazão específica de saída possui direta influencia no cálculo do volume solicitado de armazenamento, pois quanto maior é a área efetiva de contribuição e menor é a vazão específica de saída, conseqüentemente maior será o volume solicitado de armazenamento.

Após o volume de armazenamento solicitado de cada compartimento ser obtido, são então dimensionadas as trincheiras de detenção através das equações (23), (25) e (27). As trincheiras devem possuir dimensões, de tal forma que, os volumes de armazenamento admissível calculado sejam capazes de armazenar o volume solicitado de armazenamento. Foi adotado que o volume de armazenamento

admissível calculado seja 10% superior ao volume solicitado de armazenamento, pois estimou-se o espaço ocupado pelos condutos no interior da trincheira.

Na Tabela 23 é apresentado o resultado do dimensionamento das trincheiras, na qual estabelece os valores da base e profundidade de cada um dos compartimentos das trincheiras. Destaca-se que, após serem realizadas diversas simulações de dimensionamento, constatou-se que é possível obter um equilíbrio entre as dimensões de largura e profundidade adotando um valor de 1,80m de profundidade das trincheiras.

Tabela 23 - Volume de armazenamento admissível calculado por compartimento

(continua)				
ID	L_{compart} (m)	Larg. (m)	Prof. (m)	S_{admissivel,calc} (m³)
T1	26,06	2,10	1,80	36,61
T2	11,20	1,90	1,80	13,52
T3	13,40	2,10	1,80	17,41
T4	37,38	1,70	1,80	39,86
T5	7,70	1,90	1,80	8,82
T6	5,26	1,90	1,80	6,40
T7	7,21	2,10	1,80	9,14
T8	4,80	1,90	1,80	5,87
T9	4,80	1,90	1,80	5,87
T10	7,21	2,10	1,80	9,15
T11	20,79	1,90	1,80	24,96
T12	20,79	1,90	1,80	24,96
T13	7,21	2,10	1,80	9,16
T14	17,07	1,70	1,80	20,19
T15	17,07	1,70	1,80	20,19
T16	3,77	1,90	1,80	4,83
T17	31,31	1,90	1,80	37,69
T18	31,31	1,90	1,80	37,69
T19	12,81	1,70	1,80	14,53
T20	16,21	1,90	1,80	19,98
T21	16,21	1,90	1,80	19,98
T22	12,81	1,90	1,80	14,75

(conclusão)				
ID	L_{compart} (m)	Larg. (m)	Prof. (m)	S_{admissível,calc} (m³)
T23	16,36	2,10	1,80	21,21
T24	19,80	2,10	1,80	28,32
T25	29,50	1,90	1,80	36,26
T26	7,18	2,30	1,80	9,97
T27	4,08	2,50	1,80	6,67
T28	16,21	1,50	1,80	13,86
T29	10,23	1,90	1,80	12,15
T30	3,77	1,90	1,80	4,72
T31	10,58	2,10	1,80	13,22
T32	7,48	1,90	1,80	8,98
T33	6,28	1,90	1,80	7,69
T34	10,05	1,90	1,80	11,51
T35	7,30	1,90	1,80	8,81
T36	25,88	1,70	1,80	26,96
T37	5,95	2,10	1,80	8,26
T38	8,77	2,10	1,80	11,66
T39	10,20	1,70	1,80	10,91
T40	17,40	1,90	1,80	20,20

Fonte: o autor

Somando o volume de armazenamento admissível calculado de todos os compartimentos das trincheiras, o volume total é de 4.387,79 m³.

Adotou-se uma profundidade padrão de 1,80 m para todos compartimentos das trincheiras, variando as larguras entre 1,50 m e 2,50 m. A trincheira que obteve a menor dimensão foi a T28, possuindo 1,5 m de largura, e a trincheira que obteve a maior dimensão foi a T27, possuindo 2,5 m de largura.

As larguras das trincheiras variam em função do volume solicitado de armazenamento, e dos comprimentos e inclinações dos compartimentos de cada uma das trincheiras. Dessa forma, quanto maior for o volume solicitado de armazenamento, menor for o comprimento de cada compartimento e maior for a declividade do terreno, conseqüentemente será maior a largura da trincheira.

Na Tabela 24 é apresentado o tempo de esvaziamento (Dv) e o tempo de funcionamento (Df) dos compartimentos das trincheiras de detenção.

Tabela 24 - Tempo de esvaziamento e de funcionamento das estruturas

ID	Dv (min)	Df (min)	ID	Dv (min)	Df (min)
T1	191,7	271,7	T21	299,2	409,2
T2	299,2	409,2	T22	299,2	409,2
T3	299,2	409,2	T23	299,2	409,2
T4	299,2	409,2	T24	88,8	138,8
T5	299,2	409,2	T25	51,1	86,1
T6	299,2	409,2	T26	264,9	364,9
T7	299,2	409,2	T27	299,2	409,2
T8	299,2	409,2	T28	51,1	86,1
T9	299,2	409,2	T29	299,2	409,2
T10	299,2	409,2	T30	299,2	409,2
T11	299,2	409,2	T31	299,2	409,2
T12	299,2	409,2	T32	299,2	409,2
T13	299,2	409,2	T33	299,2	409,2
T14	299,2	409,2	T34	299,2	409,2
T15	299,2	409,2	T35	299,2	409,2
T16	299,2	409,2	T36	299,2	409,2
T17	299,2	409,2	T37	299,2	409,2
T18	299,2	409,2	T38	299,2	409,2
T19	299,2	409,2	T39	299,2	409,2
T20	299,2	409,2	T40	299,2	409,2

Fonte: o autor

O tempo de esvaziamento dos compartimentos das trincheiras de detenção variam entre 51,1 min e 299,2 min de duração. E o tempo de funcionamento das trincheiras, que compreende o tempo desde o início do enchimento até o completo esvaziamento da estrutura, variando entre 86,1min e 409,2 min de duração.

5.2.2.3 Rede de tubulações e orifícios reguladores de vazão

Para regular a vazão de saída e conduzir o escoamento até o exutório do loteamento foi dimensionada uma rede de drenagem localizada no fundo das trincheiras, e para cada compartimento das trincheiras foram dimensionados orifícios a serem executados na rede de tubulação, de tal forma que os mesmos realizem a captação e controle da vazão de saída.

5.2.2.3.1 Orifícios reguladores de vazão

Na Tabela 25 são apresentados os diâmetros dos orifícios reguladores de vazão e a quantidade desses orifícios necessários para captar as águas armazenadas nos respectivos compartimentos das trincheiras, de tal forma que, escoe uma vazão pré-estabelecida, informada na Tabela 21.

Tabela 25 - Orifícios reguladores de vazão

(continua)

ID	L _{compartim.} (m)	Ø _{orifício} (mm)	N _{orifícios}	ID	L _{compartim.} (m)	Ø _{orifício} (mm)	N _{orifícios}
T1	26,06	10	13	T21	16,21	6	13
T2	11,20	6	9	T22	12,81	6	10
T3	13,40	6	12	T23	16,36	6	15
T4	37,38	6	26	T24	19,80	10	22
T5	7,70	6	6	T25	29,50	10	48
T6	5,26	6	5	T26	7,18	6	8
T7	7,21	6	6	T27	4,08	6	5
T8	4,80	6	4	T28	16,21	10	20
T9	4,80	6	4	T29	10,23	6	8
T10	7,21	6	7	T30	3,77	6	4
T11	20,79	6	17	T31	10,58	6	9
T12	20,79	6	17	T32	7,48	6	6
T13	7,21	6	7	T33	6,28	6	5
T14	17,07	6	13	T34	10,05	6	8
T15	17,07	6	13	T35	7,30	6	6

(conclusão)

ID	L _{compartim.} (m)	Ø _{orifício} (mm)	N _{orifícios}	ID	L _{compartim.} (m)	Ø _{orifício} (mm)	N _{orifícios}
T16	3,77	6	4	T36	25,88	6	18
T17	31,31	6	25	T37	5,95	6	6
T18	31,31	6	25	T38	8,77	6	8
T19	12,81	6	10	T39	10,20	6	7
T20	16,21	6	13	T40	17,40	6	14

Fonte: o autor

Somando os orifícios de todos os compartimentos de cada uma das trincheiras, resulta-se em 3.136 orifícios. Os diâmetros dos orifícios variaram entre 6mm e 10mm, e a quantidade de orifícios por compartimento variou entre 4 e 48 orifícios.

No Apêndice 1 – Planta 10 é detalhada a perfuração dos orifícios de captação e no Apêndice 1 – Planta 05 é apresentado o projeto TR5_POA referente a rede de trincheiras de detenção.

5.2.2.3.2 Rede de tubulações

Na Tabela 26 são apresentados os resultados do dimensionamento da rede de tubulação na qual irá conduzir o escoamento captado pelos orifícios de cada compartimento.

Tabela 26 - Resultados do dimensionamento da rede de tubulação

(continua)

Trecho		L (m)	Q _{trecho} (L/s)	Q _{acum} (L/s)	D _{calc} (m)	D _{adot} (m)	y/D
M	J						
IT1	PV1	105,0	11,37	11,37	0,127	0,150	0,58
IT2	PV1	57,0	3,38	3,38	0,062	0,150	0,20
PV1	PV2	13,0	0,00	14,75	0,122	0,150	0,54
IT3	PV2	68,0	4,34	4,34	0,069	0,150	0,23
PV2	PV3	75,0	3,98	23,07	0,158	0,200	0,52
IT5	PV3	111,0	6,19	6,19	0,069	0,150	0,23
PV3	PV4	10,0	0,00	29,26	0,158	0,200	0,51

(continua)

Trecho		L (m)	Q _{trecho} (L/s)	Q _{acum} (L/s)	D _{calc} (m)	D _{adot} (m)	y/D
M	J						
IT6	PV4	121,0	7,11	7,11	0,072	0,150	0,25
PV4	PV5	52,0	3,15	39,52	0,136	0,200	0,41
IT8	PV5	121,0	7,12	7,12	0,072	0,150	0,25
PV5	PV6	10,0	0,00	46,64	0,188	0,200	0,70
IT9	PV6	121,0	7,11	7,11	0,072	0,150	0,25
PV6	PV7	52,0	3,18	56,93	0,156	0,200	0,51
IT11	PV7	126,0	7,52	7,52	0,094	0,150	0,36
PV7	PV8	13,0	0,00	64,45	0,213	0,250	0,58
IT12	PV8	126,0	7,53	7,53	0,094	0,150	0,36
PV8	PV9	52,0	3,18	75,16	0,174	0,250	0,42
IT14	PV9	121,0	7,14	7,14	0,113	0,150	0,48
PV9	PV10	10,0	0,00	82,30	0,233	0,250	0,69
IT15	PV10	121,0	7,15	7,15	0,113	0,150	0,48
PV10	PV11	52,0	3,18	92,63	0,198	0,250	0,52
IT17	PV11	126,0	7,55	7,55	0,102	0,150	0,41
PV11	PV12	13,0	0,00	100,17	0,251	0,300	0,56
IT18	PV12	126,0	7,45	7,45	0,101	0,150	0,40
PV12	PV13	52,0	2,92	110,55	0,259	0,300	0,60
PV13	PV14	10,0	0,00	110,55	0,260	0,300	0,60
PV14	PV15	52,0	2,92	113,47	0,226	0,300	0,48
IT24	PV17	100,0	23,93	23,93	0,168	0,200	0,57
PV17	PV18	89,0	30,73	54,65	0,219	0,250	0,61
PV18	PV19	74,0	5,70	60,35	0,160	0,250	0,37
PV19	PV20	56,0	4,38	64,73	0,164	0,250	0,39
IT28	PV20	115,0	28,23	28,23	0,133	0,150	0,63
PV20	PV21	13,0	0,00	92,96	0,244	0,250	0,76
IT29	PV21	115,0	6,69	6,69	0,078	0,150	0,28
PV21	PV22	52,0	3,10	102,75	0,195	0,250	0,51
IT31	PV22	108,0	6,69	6,69	0,074	0,150	0,26
PV22	PV23	10,0	0,00	109,44	0,259	0,300	0,60

(conclusão)

Trecho		L (m)	Q _{trecho} (L/s)	Q _{acum} (L/s)	D _{calc} (m)	D _{adot} (m)	y/D
M	J						
IT32	PV23	108,0	6,33	6,33	0,073	0,150	0,25
PV23	PV24	52,0	3,10	118,88	0,218	0,300	0,45
IT34	PV24	113,0	6,33	6,33	0,073	0,150	0,25
PV24	PV25	13,0	0,00	125,21	0,273	0,300	0,66
IT35	PV25	113,0	6,68	6,68	0,074	0,150	0,26
PV25	PV26	52,0	2,66	134,55	0,278	0,300	0,68
IT37	PV26	99,0	6,68	6,68	0,077	0,150	0,27
PV26	PV27	10,0	0,00	141,24	0,285	0,300	0,72
IT38	PV27	99,0	6,45	6,45	0,076	0,150	0,27
PV27	PV28	52,0	2,69	150,37	0,251	0,300	0,57
IT40	PV28	88,0	5,00	5,00	0,075	0,150	0,26
PV28	PV15	13,0	0,00	155,37	0,337	0,450	0,47
PV15	PV16	8,0	0,00	268,84	0,363	0,450	0,53
IT20	PV29	115,0	7,07	7,07	0,091	0,150	0,35
IT21	PV29	115,0	7,08	7,08	0,091	0,150	0,35
PV29	PV30	8,0	0,00	14,15	0,156	0,200	0,50
PV30	PV31	56,0	0,00	14,15	0,156	0,200	0,50
IT23	PV31	116,0	7,47	7,47	0,087	0,150	0,32
PV31	PV32	8,0	0,00	21,62	0,183	0,200	0,66

Fonte: o autor

Na Tabela 27 é apresentado um resumo dos diâmetros adotados e seus respectivos comprimentos totais.

O menor diâmetro adotado na rede de tubulação foi de 150mm, sendo também o mais aplicado no sistema, totalizando 2.767,0 m de tubo. E o maior diâmetro foi de 600 mm, sendo o menos aplicado no sistema, totalizando apenas 8 m de tubo. A grande quantidade de tubos com diâmetro mínimo ocorre pelo fato de a vazão escoada na tubulação ser uma vazão de pré-desenvolvimento da área, sendo uma vazão bem inferior daquelas obtidas por sistemas convencionais de drenagem.

Tabela 27 - Comprimentos totais da tubulação adotada

DN adotado	Quantidade (m)	Material
DN150	2767,0	PVC Corrugado parede dupla (int. liso)
DN200	371,0	PVC Corrugado parede dupla (int. liso)
DN250	411,0	PEAD Corrugado parede dupla (int. liso)
DN300	316,0	PEAD Corrugado parede dupla (int. liso)
DN450	13,0	PEAD Corrugado parede dupla (int. liso)
DN600	8,0	PEAD Corrugado parede dupla (int. liso)

Fonte: o autor

No Apêndice 1 – Planta 06 é apresentado o projeto referente a rede de tubulações instaladas nos fundos das trincheiras de detenção.

5.2.3 Projeto TR5_CONV

Seguindo a mesma lógica de dimensionamento do projeto TR5_POA, neste item é apresentado os resultados de dimensionamento do projeto TR5_CONV.

Porém, para o projeto TR5_CONV estabeleceu-se um pico de vazão de saída no exutório do loteamento idêntico ao pico de vazão calculado através do método convencional de drenagem, no qual foi abordado no item 4.3.3.1.2. O pico de vazão de saída do empreendimento informado nas tabelas de dimensionamento é de 2,02 m³/s.

Dessa forma, o sistema de trincheiras de detenção deve ter a capacidade de armazenar as águas precipitadas e controlar sua descarga de tal maneira que o pico de vazão no exutório do loteamento não ultrapasse 2,02 m³/s.

5.2.3.1 Compartimentalização das trincheiras

Na Tabela 28 são apresentadas as quantidades necessárias de compartimentos em cada trincheira, a área de contribuição efetiva e o comprimento de cada um dos compartimentos das respectivas trincheiras.

Tabela 28 - Quantidade e comprimento dos compartimentos e suas áreas de contribuição

ID	N _{compartim.}	A _{efetiva} (m ²)	L _{compartim.} (m)	ID	N _{compartim.}	A _{efetiva} (m ²)	L _{compartim.} (m)
T1	1	3.272,5	105,00	T21	3	934,4	38,17
T2	2	669,1	28,38	T22	2	578,0	25,88
T3	3	572,9	22,50	T23	4	740,2	28,81
T4	1	1.575,9	75,00	T24	1	4.085,7	100,00
T5	7	350,3	15,64	T25	1	3.712,2	89,00
T6	8	352,1	14,91	T26	6	344,4	12,13
T7	5	249,8	10,20	T27	7	247,8	7,79
T8	9	313,3	13,22	T28	1	3.410,3	115,00
T9	9	313,0	13,22	T29	5	530,1	22,80
T10	4	314,9	12,81	T30	4	307,1	12,81
T11	3	993,0	41,83	T31	6	441,8	17,79
T12	3	993,9	41,83	T32	6	418,1	17,79
T13	4	314,8	12,81	T33	3	409,6	17,17
T14	1	2.829,1	121,00	T34	6	418,1	18,63
T15	1	2.832,5	121,00	T35	6	441,2	18,63
T16	3	419,9	17,17	T36	1	1.053,9	52,00
T17	2	1.494,5	62,88	T37	5	529,4	19,60
T18	2	1.476,5	62,88	T38	5	510,7	19,60
T19	1	1.156,2	52,00	T39	2	532,3	25,88
T20	3	933,6	38,17	T40	3	660,0	29,17

Fonte: o autor

Ao todo, é necessário implantar no projeto TR5_CONV um total 149 compartimentos. Em diversas trincheiras não foi necessário implantar compartimentos, a maior quantidade de compartimentos implantados foi na trincheira T8 e T9, sendo necessário 9 compartimentos.

A quantidade reduzida de compartimentos ocorre pelo fato da vazão de saída estipulada no projeto TR5_CONV ser consideravelmente maior que a vazão de saída estabelecida no projeto TR5_POA. Dessa forma, além da inclinação das trincheiras, a vazão de saída também influencia diretamente na compartimentalização das trincheiras.

5.2.3.2 Dimensionamento das trincheiras

Na Tabela 29 é apresentada a vazão de saída de cada um dos compartimentos instalados nas trincheira, a vazão total de saída da respectiva trincheira e a vazão específica de saída para cada compartimento das trincheiras.

No item 4.3.3.1.2 é abordado o método de obtenção da vazão de saída aplicado nesse projeto.

Tabela 29 - Vazão total de saída e vazão específica de saída

ID	Q_{pd} compartimento (m³/s)	Q_{pd} trincheira (m³/s)	q_scompart. (m/s)	ID	Q_{pd} compartimento (m³/s)	Q_{pd} trincheira (m³/s)	q_scompart. (m/s)
T1	0,0790	0,079	2,41x10 ⁻⁵	T21	0,0164	0,049	1,75x10 ⁻⁵
T2	0,0117	0,023	1,75x10 ⁻⁵	T22	0,0101	0,020	1,75x10 ⁻⁵
T3	0,0100	0,030	1,75x10 ⁻⁵	T23	0,0130	0,052	1,75x10 ⁻⁵
T4	0,0276	0,028	1,75x10 ⁻⁰⁵	T24	0,1662	0,166	4,07x10 ⁻⁵
T5	0,0061	0,043	1,75x10 ⁻⁰⁵	T25	0,2134	0,213	5,75x10 ⁻⁵
T6	0,0062	0,049	1,75x10 ⁻⁵	T26	0,0066	0,040	1,92x10 ⁻⁵
T7	0,0044	0,022	1,75x10 ⁻⁵	T27	0,0043	0,030	1,75x10 ⁻⁵
T8	0,0055	0,049	1,75x10 ⁻⁵	T28	0,1960	0,196	5,75x10 ⁻⁵
T9	0,0055	0,049	1,75x10 ⁻⁵	T29	0,0093	0,046	1,75x10 ⁻⁵
T10	0,0055	0,022	1,75x10 ⁻⁵	T30	0,0054	0,022	1,75x10 ⁻⁵
T11	0,0174	0,052	1,75x10 ⁻⁵	T31	0,0077	0,046	1,75x10 ⁻⁵
T12	0,0174	0,052	1,75x10 ⁻⁵	T32	0,0073	0,044	1,75x10 ⁻⁵
T13	0,0055	0,022	1,75x10 ⁻⁵	T33	0,0072	0,022	1,75x10 ⁻⁵
T14	0,0496	0,050	1,75x10 ⁻⁵	T34	0,0073	0,044	1,75x10 ⁻⁵
T15	0,0497	0,050	1,75x10 ⁻⁵	T35	0,0077	0,046	1,75x10 ⁻⁵
T16	0,0074	0,022	1,75x10 ⁻⁵	T36	0,0185	0,018	1,75x10 ⁻⁵
T17	0,0262	0,052	1,75x10 ⁻⁵	T37	0,0093	0,046	1,75x10 ⁻⁵
T18	0,0259	0,052	1,75x10 ⁻⁵	T38	0,0090	0,045	1,75x10 ⁻⁵
T19	0,0203	0,020	1,75x10 ⁻⁵	T39	0,0093	0,019	1,75x10 ⁻⁵
T20	0,0164	0,049	1,75x10 ⁻⁵	T40	0,0116	0,035	1,75x10 ⁻⁵

Fonte: o autor

O somatório das vazões $Q_{pd, trincheira}$ de todas as trincheiras resultam em 2,02 m³/s, valor igual ao pico vazão atingido no sistema convencional de drenagem.

Na Tabela 30 é apresentado os resultados da aplicação do método das chuvas, retornando as alturas de lâmina d'água da curva afluente (PDT), as alturas da lâmina d'água da curva efluente (qS), o tempo Dp, a máxima diferença entre as curvas (DP_{max}) e o volume solicitado de armazenamento para cada compartimento da trincheira ($S_{solicitado, compartimento}$).

Tabela 30 - Volume de armazenamento solicitado por compartimento

(continua)

ID	PDT (m)	qS (m)	Dp (min)	DP _{max} (m)	$S_{solicitado, compartimento}$ (m ³)
T1	0,023	0,014	10	0,008	26,99
T2	0,029	0,016	15	0,013	8,73
T3	0,029	0,016	15	0,013	7,47
T4	0,029	0,016	15	0,013	20,55
T5	0,029	0,016	15	0,013	4,57
T6	0,029	0,016	15	0,013	4,59
T7	0,029	0,016	15	0,013	3,26
T8	0,029	0,016	15	0,013	4,09
T9	0,029	0,016	15	0,013	4,08
T10	0,029	0,016	15	0,013	4,11
T11	0,029	0,016	15	0,013	12,95
T12	0,029	0,016	15	0,013	12,96
T13	0,029	0,016	15	0,013	4,11
T14	0,029	0,016	15	0,013	36,89
T15	0,029	0,016	15	0,013	36,94
T16	0,029	0,016	15	0,013	5,48
T17	0,029	0,016	15	0,013	19,49
T18	0,029	0,016	15	0,013	19,26
T19	0,029	0,016	15	0,013	15,08
T20	0,029	0,016	15	0,013	12,18
T21	0,029	0,016	15	0,013	12,19
T22	0,029	0,016	15	0,013	7,54

(conclusão)					
ID	PDT (m)	qS (m)	Dp (min)	DP _{max} (m)	S _{solic,compartmento} (m ³)
T23	0,029	0,016	15	0,013	9,65
T24	0,014	0,012	5	0,002	7,57
T25	0,014	0,017	5	-0,003	-11,84
T26	0,029	0,017	15	0,012	3,99
T27	0,029	0,016	15	0,013	3,23
T28	0,014	0,017	5	-0,003	-10,87
T29	0,029	0,016	15	0,013	6,91
T30	0,029	0,016	15	0,013	4,00
T31	0,029	0,016	15	0,013	5,76
T32	0,029	0,016	15	0,013	5,45
T33	0,029	0,016	15	0,013	5,34
T34	0,029	0,016	15	0,013	5,45
T35	0,029	0,016	15	0,013	5,75
T36	0,029	0,016	15	0,013	13,74
T37	0,029	0,016	15	0,013	6,90
T38	0,029	0,016	15	0,013	6,66
T39	0,029	0,016	15	0,013	6,94
T40	0,029	0,016	15	0,013	8,61

Fonte: o autor

Somando o volume solicitado de armazenamento de todos os compartimentos das trincheiras, o volume total é de 1.042,61 m³.

Os maiores volumes solicitados são dos compartimentos da trincheira T15, na qual está sobre uma área de contribuição efetiva de 2.832,50 m², sendo necessário armazenar 36,94 m³ de água em cada compartimento.

Nas trincheiras T25 e T28 obteve-se volumes de armazenamento negativo, isso ocorre pelo fato da altura da lâmina d'água afluyente (PDT) ser inferior a lâmina d'água efluente (qS). Ou seja, adotando as vazões específicas de saída da Tabela 29, as trincheiras T25 e T28 irão possuir maior saída do que entrada de água no sistema, não sendo necessário o armazenamento.

Na Tabela 31 é apresentado o resultado do dimensionamento das trincheiras, na qual estabelece os valores da base e profundidade de cada um dos compartimentos das trincheiras. As trincheiras devem possuir dimensões, de tal forma que, os volumes de armazenamento admissível calculado sejam capazes de armazenar o volume solicitado de armazenamento. Foi adotado que o volume de armazenamento admissível calculado seja 10% superior ao volume solicitado de armazenamento, pois estimou-se o espaço ocupado pelos condutos no interior da trincheira.

Tabela 31 - Volume de armazenamento admissível calculado por compartimento

(continua)				
ID	L_{compart} (m)	Larg. (m)	Prof. (m)	S_{admissível,calc} (m³)
T1	105,00	1,20	1,30	39,59
T2	28,38	1,20	1,30	10,40
T3	22,50	1,20	1,30	9,45
T4	75,00	1,20	1,30	30,06
T5	15,64	1,20	1,30	5,29
T6	14,91	1,20	1,30	5,24
T7	10,20	1,20	1,30	4,35
T8	13,22	1,20	1,30	4,89
T9	13,22	1,20	1,30	4,89
T10	12,81	1,20	1,30	4,83
T11	41,83	1,20	1,30	17,20
T12	41,83	1,20	1,30	17,20
T13	12,81	1,20	1,30	4,84
T14	121,00	1,00	1,30	42,13
T15	121,00	1,00	1,30	42,13
T16	17,17	1,20	1,30	6,47
T17	62,88	1,20	1,30	26,14
T18	62,88	1,20	1,30	26,14
T19	52,00	1,10	1,30	17,43
T20	38,17	1,20	1,30	16,12
T21	38,17	1,20	1,30	16,12
T22	25,88	1,20	1,30	9,00

(conclusão)				
ID	L_{compart} (m)	Larg. (m)	Prof. (m)	S_{admissível,calc} (m³)
T23	28,81	1,20	1,30	11,74
T24	100,00	1,20	1,30	38,88
T25	89,00	1,00	1,30	26,64
T26	12,13	1,20	1,30	4,72
T27	7,79	1,20	1,30	3,69
T28	115,00	1,00	1,30	7,30
T29	22,80	1,20	1,30	8,45
T30	12,81	1,20	1,30	4,84
T31	17,79	1,20	1,30	6,62
T32	17,79	1,20	1,30	6,62
T33	17,17	1,20	1,30	6,47
T34	18,63	1,20	1,30	6,78
T35	18,63	1,20	1,30	6,78
T36	52,00	1,20	1,30	19,01
T37	19,60	1,20	1,30	7,65
T38	19,60	1,20	1,30	7,65
T39	25,88	1,20	1,30	9,00
T40	29,17	1,20	1,30	11,81

Fonte: o autor

Somando o volume de armazenamento admissível calculado de todos os compartimentos das trincheiras, o volume total é de 1.354,54 m³.

Adotou-se uma profundidade padrão de 1,30 m para todos compartimentos das trincheiras, variando as larguras entre 1,00 m e 1,20 m. Para as trincheiras T25 e T28, na qual não é necessário realizar o armazenamento de água, adotou-se uma largura mínima de 1,00 m, afim de garantir a captação do escoamento superficial.

Na Tabela 32 é apresentado o tempo de esvaziamento (Dv) e o tempo de funcionamento (Df) dos compartimentos das trincheiras de detenção.

Tabela 32 - Tempo de esvaziamento e de funcionamento das estruturas

ID	Dv (min)	Df (min)	ID	Dv (min)	Df (min)
T1	5,7	15,7	T21	12,4	27,4
T2	12,4	27,4	T22	12,4	27,4
T3	12,4	27,4	T23	12,4	27,4
T4	12,4	27,4	T24	0,8	5,8
T5	12,4	27,4	T25	-0,9	4,1
T6	12,4	27,4	T26	10,1	25,1
T7	12,4	27,4	T27	12,4	27,4
T8	12,4	27,4	T28	-0,9	4,1
T9	12,4	27,4	T29	12,4	27,4
T10	12,4	27,4	T30	12,4	27,4
T11	12,4	27,4	T31	12,4	27,4
T12	12,4	27,4	T32	12,4	27,4
T13	12,4	27,4	T33	12,4	27,4
T14	12,4	27,4	T34	12,4	27,4
T15	12,4	27,4	T35	12,4	27,4
T16	12,4	27,4	T36	12,4	27,4
T17	12,4	27,4	T37	12,4	27,4
T18	12,4	27,4	T38	12,4	27,4
T19	12,4	27,4	T39	12,4	27,4
T20	12,4	27,4	T40	12,4	27,4

Fonte: o autor

O tempo de esvaziamento dos compartimentos das trincheiras de detenção variam entre 0 e 12,4 min de duração, os valores negativos obtidos nas trincheiras T25 e T28 ocorrem pelo fato dessas trincheiras não realizarem o armazenamento das águas, pois a saída é maior que a entrada de água no sistema.

O tempo de funcionamento das trincheiras, que compreende o tempo desde o início do enchimento até o completo esvaziamento da estrutura, variam entre 4,1 min e 27,4 min de duração.

5.2.3.3 Rede de tubulações e orifícios reguladores de vazão

Seguindo a mesmo método de captação e escoamento das águas armazenadas pelas trincheiras do projeto TR5_POA, foi dimensionada para o projeto TR5_CONV uma rede de drenagem localizada no fundo das trincheiras, e para cada compartimento das trincheiras foram dimensionados orifícios a serem executados na rede de tubulação, de tal forma que os mesmos realizem a captação e controle da vazão de saída.

5.2.3.3.1 Orifícios reguladores de vazão

Na Tabela 33 são apresentados os diâmetros dos orifícios reguladores de vazão e a quantidade desses orifícios necessários para captar as águas armazenadas nos respectivos compartimentos das trincheiras, de tal forma que, escoe uma vazão pré-estabelecida, informada na Tabela 29.

Tabela 33 - Orifícios reguladores de vazão

(continua)

ID	Lcompartim. (m)	Øorifício (mm)	Norifícios	ID	Lcompartim. (m)	Øorifício (mm)	Norifícios
T1	105,00	12	364	T21	38,17	12	72
T2	28,38	12	55	T22	25,88	12	49
T3	22,50	12	44	T23	28,81	12	58
T4	75,00	12	124	T24	100,00	12	753
T5	15,64	12	30	T25	89,00	12	1005
T6	14,91	12	30	T26	12,13	12	30
T7	10,20	12	19	T27	7,79	12	18
T8	13,22	12	26	T28	115,00	12	842
T9	13,22	12	26	T29	22,80	12	44
T10	12,81	12	26	T30	12,81	12	25
T11	41,83	12	77	T31	17,79	12	36
T12	41,83	12	77	T32	17,79	12	34
T13	12,81	12	26	T33	17,17	12	34
T14	121,00	12	217	T34	18,63	12	35

(conclusão)

ID	L _{compartim.} (m)	Ø _{orifício} (mm)	N _{orifícios}	ID	L _{compartim.} (m)	Ø _{orifício} (mm)	N _{orifícios}
T15	121,00	12	217	T35	18,63	12	37
T16	17,17	12	34	T36	52,00	12	87
T17	62,88	12	115	T37	19,60	12	42
T18	62,88	12	114	T38	19,60	12	41
T19	52,00	12	95	T39	25,88	12	45
T20	38,17	12	72	T40	29,17	12	52

Fonte: o autor

Somando os orifícios de todos os compartimentos de cada uma das trincheiras, resulta-se em 9.192 orifícios. Foi adotado um diâmetro padrão de 12 mm por orifício e a quantidade de orifícios por compartimento variou entre 18 e 1.005 orifícios.

Adotou-se um diâmetro de orifício fora do intervalo recomendado, pois caso contrário seriam necessários uma maior quantidade de orifícios na tubulação. Isso ocorre devido a vazão de saída estipulada para o projeto TR5_CONV, na qual é consideravelmente maior que a vazão de saída estipulada no projeto TR_POA.

No Apêndice 1 – Planta 11 é detalhada a perfuração dos orifícios de captação e no Apêndice 1 – Planta 07 é apresentado o projeto TR5_CONV referente a rede de trincheiras de detenção.

5.2.3.3.2 Rede de tubulações

Na Tabela 34 são apresentados os resultados do dimensionamento da rede de tubulação na qual irá conduzir o escoamento captado pelos orifícios de cada compartimento.

Tabela 34 - Resultados do dimensionamento da rede de tubulação

(continua)

Trecho		L (m)	Q _{trecho} (L/s)	Q _{acum} (L/s)	D _{calc} (m)	D _{adot} (m)	y/D
M	J						
IT1	PV1	105,0	78,98	78,98	0,262	0,300	0,61
IT2	PV1	57,0	23,46	23,46	0,129	0,150	0,59

(continua)

Trecho		L (m)	Q _{trecho} (L/s)	Q _{acum} (L/s)	D _{calc} (m)	D _{adot} (m)	y/D
M	J						
PV1	PV2	13,0	0,00	102,44	0,253	0,300	0,57
IT3	PV2	68,0	30,13	30,13	0,142	0,150	0,71
PV2	PV3	75,0	27,62	160,19	0,327	0,450	0,45
IT5	PV3	111,0	42,98	42,98	0,142	0,150	0,71
PV3	PV4	10,0	0,00	203,17	0,327	0,450	0,45
IT6	PV4	121,0	49,38	49,38	0,150	0,150	0,81
PV4	PV5	52,0	21,89	274,44	0,282	0,450	0,36
IT8	PV5	121,0	49,43	49,43	0,148	0,150	0,79
PV5	PV6	10,0	0,00	323,87	0,389	0,450	0,60
IT9	PV6	121,0	49,38	49,38	0,148	0,150	0,79
PV6	PV7	52,0	22,08	395,33	0,323	0,450	0,44
IT11	PV7	126,0	52,22	52,22	0,194	0,200	0,75
PV7	PV8	13,0	0,00	447,55	0,440	0,450	0,76
IT12	PV8	126,0	52,27	52,27	0,194	0,200	0,76
PV8	PV9	52,0	22,08	521,89	0,359	0,450	0,52
IT14	PV9	121,0	49,59	49,59	0,234	0,250	0,70
PV9	PV10	10,0	0,00	571,48	0,482	0,600	0,53
IT15	PV10	121,0	49,65	49,65	0,234	0,250	0,70
PV10	PV11	52,0	22,08	643,21	0,410	0,600	0,41
IT17	PV11	126,0	52,39	52,39	0,211	0,250	0,57
PV11	PV12	13,0	0,00	695,61	0,519	0,600	0,60
IT18	PV12	126,0	51,77	51,77	0,210	0,250	0,57
PV12	PV13	52,0	20,27	767,64	0,535	0,600	0,63
PV13	PV14	10,0	0,00	767,64	0,538	0,600	0,64
PV14	PV15	52,0	20,27	787,91	0,468	0,600	0,50
IT24	PV17	100,0	166,16	166,16	0,347	0,450	0,49
PV17	PV18	89,0	213,36	379,52	0,452	0,600	0,48
PV18	PV19	74,0	39,57	419,09	0,330	0,600	0,30
PV19	PV20	56,0	30,40	449,49	0,339	0,600	0,31
IT28	PV20	115,0	196,01	196,01	0,276	0,300	0,67

(conclusão)

Trecho		L (m)	Q _{trecho} (L/s)	Q _{acum} (L/s)	D _{calc} (m)	D _{adot} (m)	y/D
M	J						
PV20	PV21	13,0	0,00	645,50	0,504	0,600	0,57
IT29	PV21	115,0	46,46	46,46	0,161	0,200	0,53
PV21	PV22	52,0	21,53	713,50	0,404	0,600	0,40
IT31	PV22	108,0	46,46	46,46	0,153	0,200	0,49
PV22	PV23	10,0	0,00	759,97	0,536	0,600	0,64
IT32	PV23	108,0	43,98	43,98	0,150	0,200	0,48
PV23	PV24	52,0	21,54	825,48	0,450	0,600	0,47
IT34	PV24	113,0	43,98	43,98	0,151	0,200	0,48
PV24	PV25	13,0	0,00	869,46	0,564	0,600	0,70
IT35	PV25	113,0	46,40	46,40	0,154	0,200	0,49
PV25	PV26	52,0	18,47	934,34	0,576	0,600	0,73
IT37	PV26	99,0	46,40	46,40	0,158	0,200	0,52
PV26	PV27	10,0	0,00	980,74	0,590	0,600	0,78
IT38	PV27	99,0	44,77	44,77	0,156	0,200	0,51
PV27	PV28	52,0	18,66	1.044,17	0,520	0,600	0,60
IT40	PV28	88,0	34,71	34,71	0,155	0,200	0,50
PV28	PV15	13,0	0,00	1.078,88	0,696	0,750	0,68
PV15	PV16	8,0	0,00	1.866,78	0,751	0,750	0,82
IT20	PV29	115,0	49,10	49,10	0,189	0,200	0,71
IT21	PV29	115,0	49,14	49,14	0,189	0,200	0,71
PV29	PV30	8,0	0,00	98,24	0,323	0,450	0,44
PV30	PV31	56,0	0,00	98,24	0,323	0,450	0,44
IT23	PV31	116,0	51,90	51,90	0,180	0,200	0,65
PV31	PV32	8,0	0,00	150,14	0,378	0,450	0,57

Fonte: o autor

Na Tabela 35 é apresentado um resumo dos diâmetros adotados e seus respectivos comprimentos totais.

Tabela 35 - Comprimentos totais da tubulação adotada

DN adotado	Quantidade (m)	Material
DN150	599,0	PVC Corrugado parede dupla (int. liso)
DN200	1.441,0	PVC Corrugado parede dupla (int. liso)
DN250	494,0	PEAD Corrugado parede dupla (int. liso)
DN300	233,0	PEAD Corrugado parede dupla (int. liso)
DN450	436,0	PEAD Corrugado parede dupla (int. liso)
DN600	662,0	PEAD Corrugado parede dupla (int. liso)
DN750	21,0	PEAD Corrugado parede dupla (int. liso)

Fonte: o autor

O menor diâmetro adotado na rede de tubulação foi de 150mm, porém o mais aplicado no sistema é o DN200, totalizando 1441,0m de tubo. E o maior diâmetro foi de 750mm, sendo o menos aplicado no sistema, totalizando apenas 21,0m de tubo.

No Apêndice 1 – Planta 08 é apresentado o projeto TR5_CONV referente a rede de tubulações instaladas nos fundos das trincheiras de retenção.

5.3 VERIFICAÇÃO DA PERMEABILIDADE DA PAVIMENTAÇÃO

A verificação da permeabilidade da pavimentação baseou-se através dos métodos e parâmetros apresentados nos itens 3.8 e 4.3.3.10.

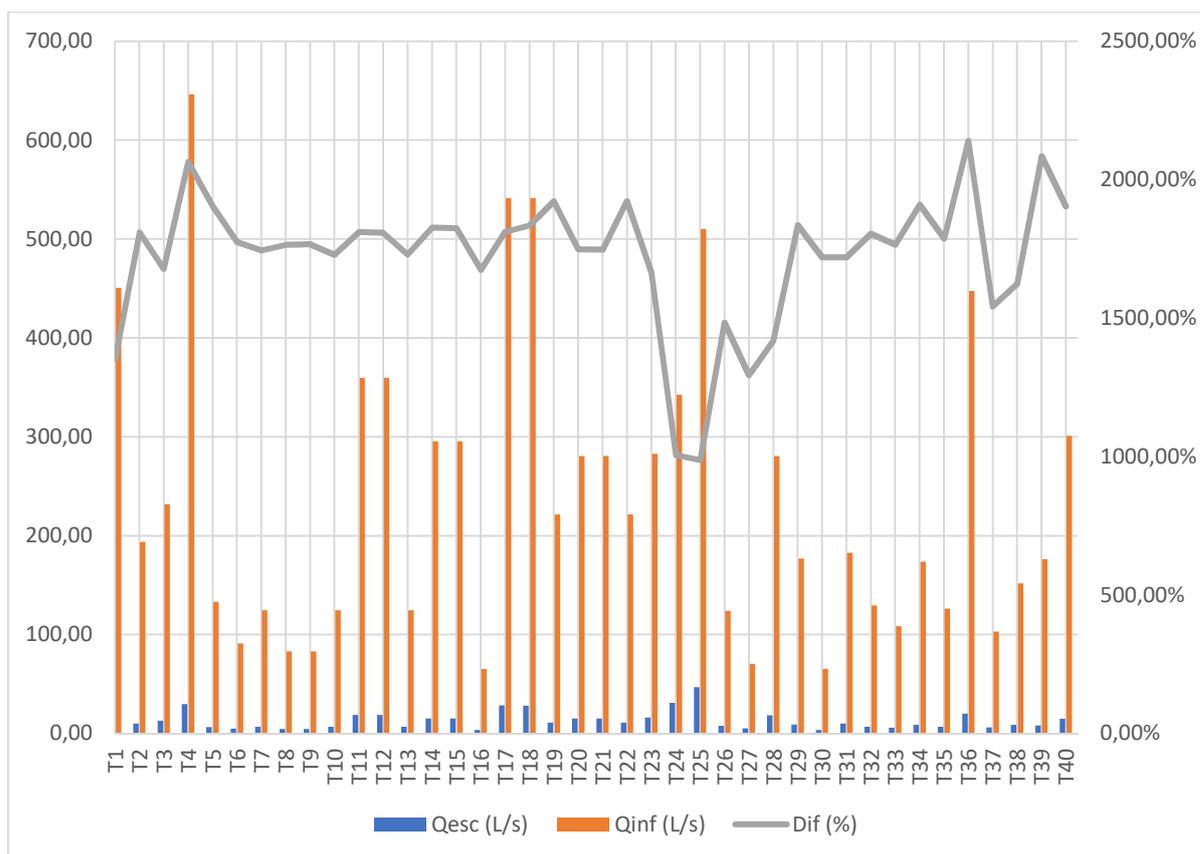
Na Figura 34 é apresentada a estimativa de vazão escoada pela superfície de cada um dos compartimentos das trincheiras e a estimativa da capacidade de infiltração do pavimento de blocos de concreto vazado preenchidos com brita nº 0 do projeto TR5_POA. Avaliou-se também a permeabilidade dos pavimentos do projeto TR5_CONV, no qual obteve-se valores semelhantes ao do projeto TR5_POA. Estão apresentados os cálculos e parâmetros do projeto TR5_POA no Apêndice 1 – Tabela 4 e do projeto TR5_CONV no Apêndice 1 – Tabela 5.

Conforme os resultados, o pavimento adotado possui a capacidade necessária de infiltração, pois a vazão de infiltração da água no pavimento é muito superior que a vazão escoada no trecho. No caso mais crítico, a vazão de infiltração é cerca de 987% maior que a vazão escoada no trecho.

Dessa forma, em relação a possíveis reduções da permeabilidade da água no pavimento por ocasião da declividade das ruas, estima-se que devido a elevada

capacidade de infiltração obtida em relação a vazão escoada no trecho, o pavimento terá condições de absorver o escoamento superficial mesmo que em condições inclinadas.

Figura 34 - Relação entre a vazão escoada e a capacidade de infiltração do pavimento



Fonte: o autor

Realizou-se também a análise da capacidade de permeabilidade da manta geotêxtil que irá revestir a trincheira, na qual obteve-se resultados de permeabilidade bem próximos aos resultados da análise de permeabilidade do pavimento. Dessa forma, da mesma maneira que para o pavimento, conclui-se que a manta geotêxtil terá a capacidade de absorver as águas escoadas sobre a superfície, mesmo que em situações inclinadas.

Porém, para obter resultados mais consistentes, é necessário realizar análise da capacidade de permeabilidade do conjunto de pavimento e manta geotêxtil nas condições locais do terreno em estudo.

5.4 ESTIMATIVA DOS CUSTOS DE IMPLANTAÇÃO

Neste item são apresentados os resultados das estimativas dos custos de implantação dos projetos TR5_POA, TR5_CONV e do sistema convencional de drenagem. Além disso, são apresentados os resultados da avaliação do impacto financeiro do projeto TR5_POA devido a redução da área comercializável de terrenos.

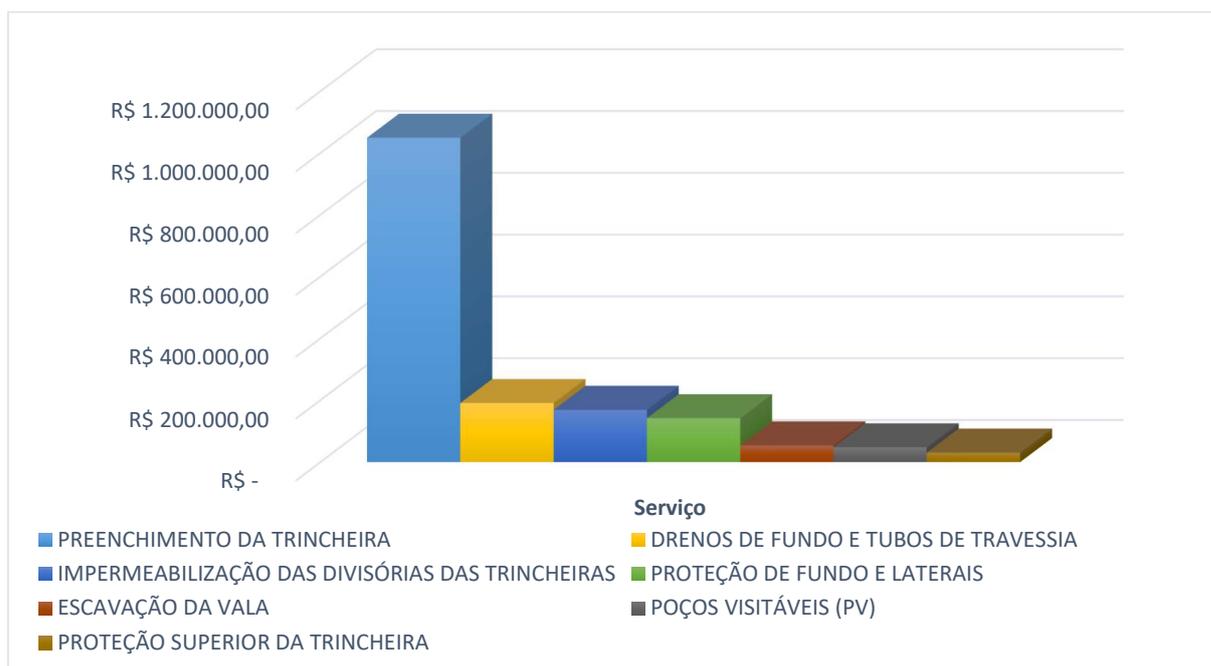
5.4.1 Projeto TR5_POA

Estimou-se que o custo total da implantação do projeto TR5_POA seja no valor de R\$ 1.683.112,68. Na Figura 35 é apresentado o custo do projeto separado por tipos de serviço.

Entre os custos dos serviços necessários para a execução do projeto TR5_POA, o custo do preenchimento da trincheira com brita Nº 5 é o que causa maior impacto no orçamento, chegando a um valor de R\$ 1.049.462,87 no qual representa 62,35% do custo da obra. Na Figura 36 é apresentado o percentual do custo dos serviços em relação ao custo total do projeto.

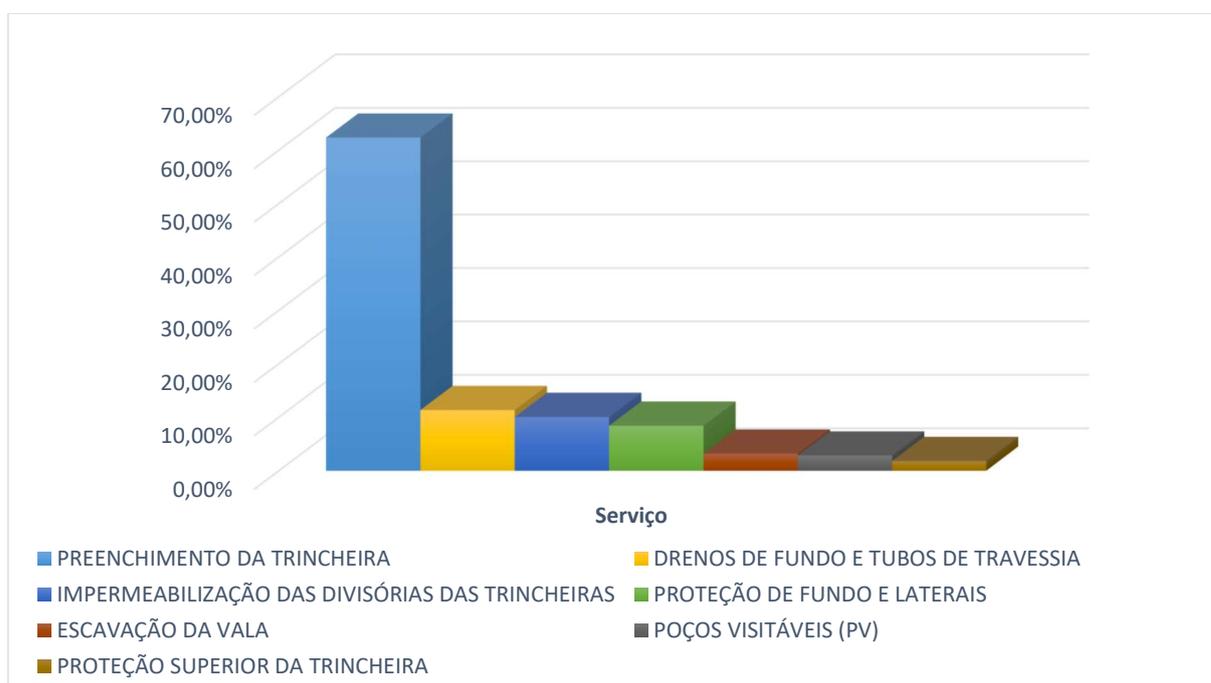
Não foram considerados no orçamento o custo da pavimentação da superfície da trincheira, meio fio, calçada e equipamentos urbanos. Pois considerasse que esses itens devam ser implantados no loteamento independentemente do sistema de drenagem adotado. Destaca-se também, que não foram considerados os custos da perfuração dos orifícios nas tubulações, por conta da inexistência de composições unitárias do serviço em tabelas do SINAPI. Porém, estima-se um custo de R\$24,15/h, na qual refere-se ao custo por hora de uma perfuratriz manual com potência de 5 cv.

Figura 35 - Custo de implantação do projeto TR5_POA



Fonte: o autor

Figura 36 - Relação percentual de custo dos serviços no projeto TR5_POA



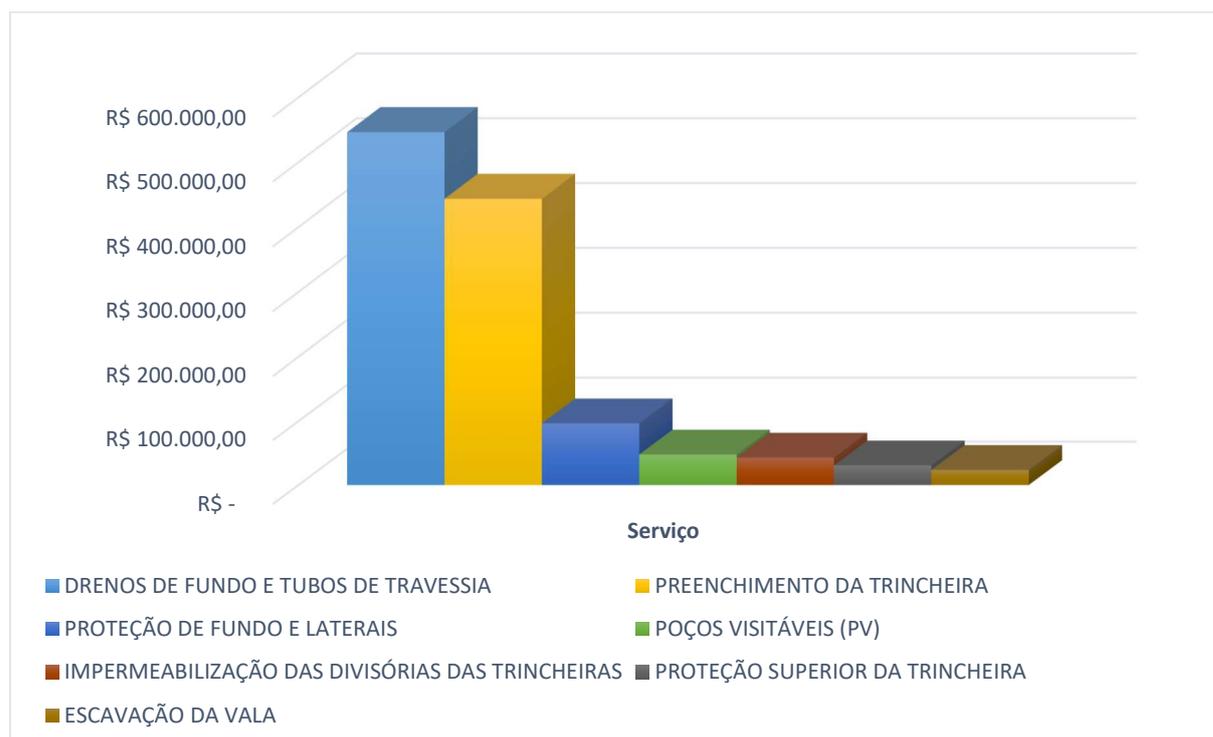
Fonte: o autor

No Apêndice 1 – Tabela 01 é apresentado a planilha detalhada do orçamento referente aos materiais e serviços considerados no projeto TR5_POA.

5.4.2 Projeto TR5_CONV

Estimou-se que o custo total da implantação do projeto TR5_CONV seja no valor de R\$ 1.232.093,99. Na Figura 37 é apresentado o custo do projeto separado por tipos de serviço.

Figura 37 - Custo de implantação do projeto TR5_CONV



Fonte: o autor

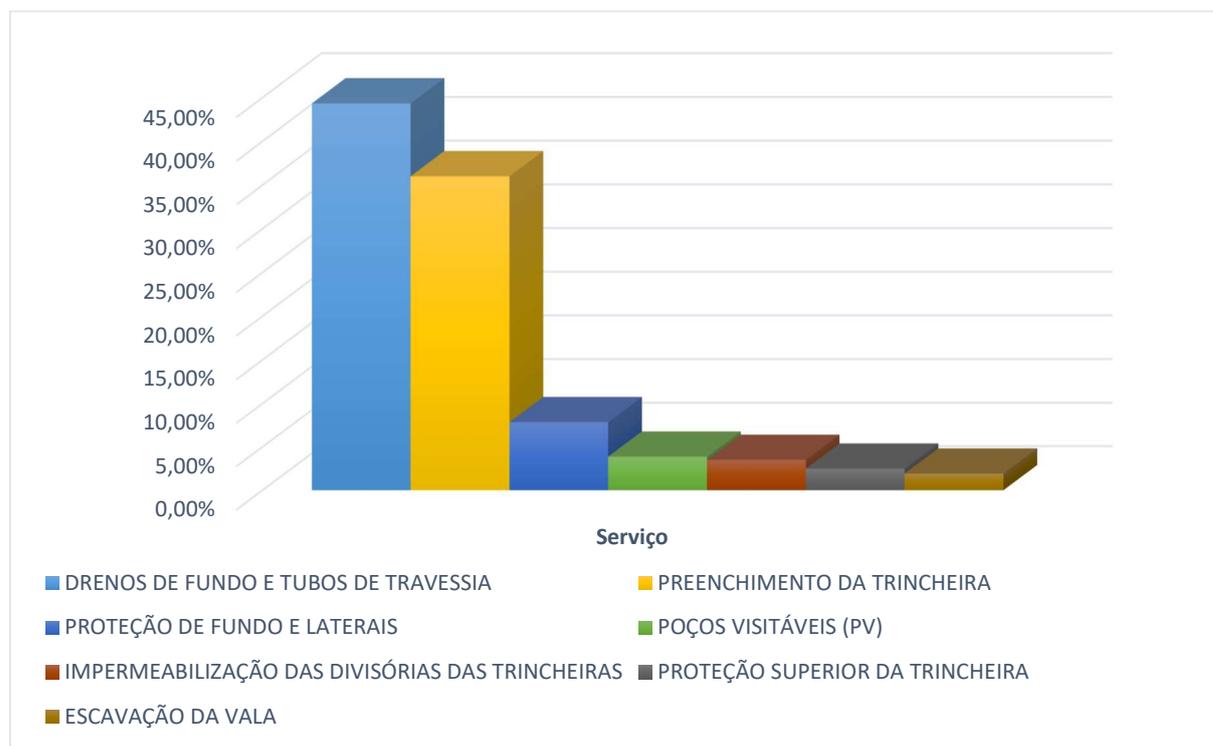
Entre os custos dos serviços necessários para a execução do projeto TR5_CONV, o custo das tubulações é o que causa maior impacto no orçamento, chegando a um valor de R\$ 546.296,53 no qual representa 44,34% do custo total da obra. Em seguida vem o custo do preenchimento da trincheira com brita Nº 5, apresentando um valor de R\$ 443.554,49 no qual representa 36,00% do custo total da obra.

Não foram considerados no orçamento o custo da pavimentação da superfície da trincheira, meio fio, calçada e equipamentos urbanos, pois considerasse que esses itens devam ser implantados no loteamento independentemente do sistema de drenagem adotado. Destaca-se também, que não foram considerados os custos da perfuração dos orifícios nas tubulações, por conta da inexistência de composições

unitárias do serviço em tabelas do SINAPI. Porém, estima-se um custo de R\$24,15/h, na qual refere-se ao custo por hora de uma perfuratriz manual com potência de 5 cv.

Na Figura 38 é apresentado o percentual do custo dos serviços em relação ao custo total do projeto.

Figura 38 - Relação percentual de custo dos serviços no projeto TR5_CONV



Fonte: o autor

No Apêndice 1 – Tabela 02 é apresentado a planilha detalhada do orçamento referente aos materiais e serviços considerados no projeto TR5_CONV.

5.4.3 Sistema convencional

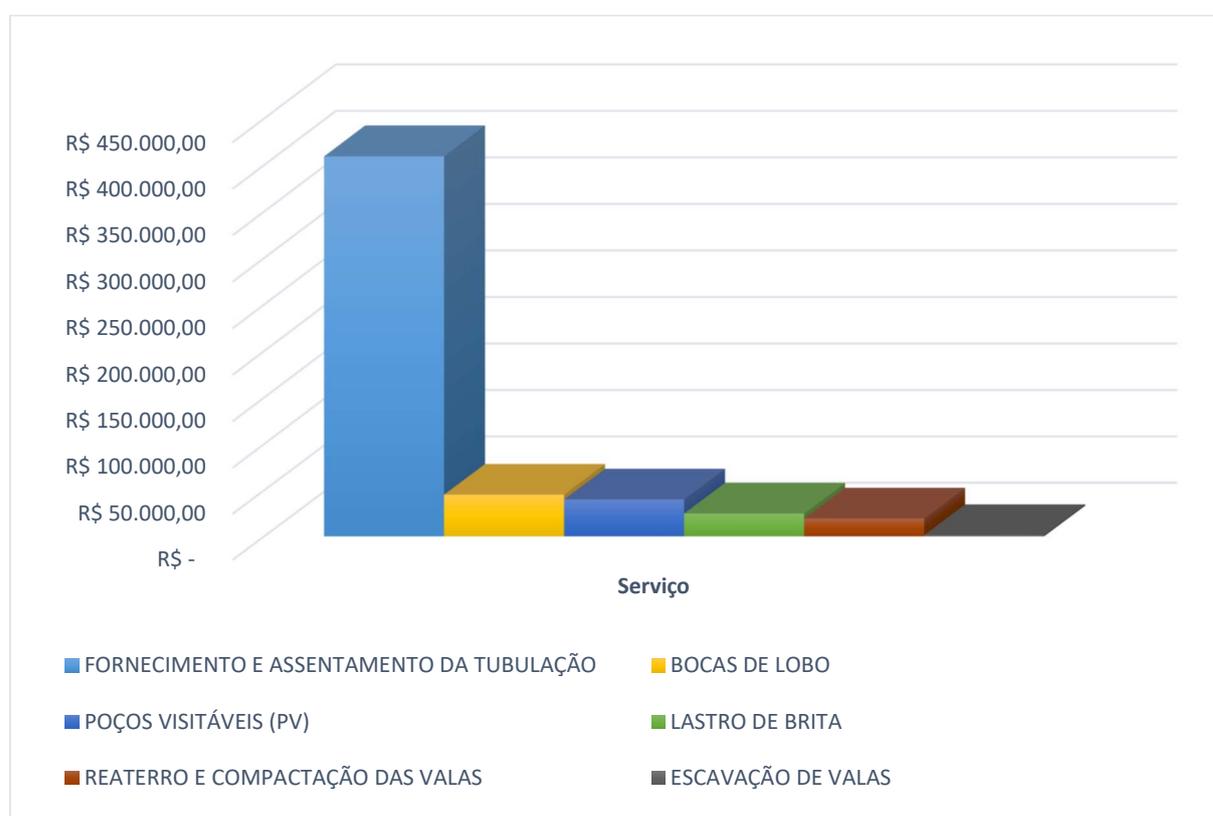
Para a elaboração da estimativa de custos do sistema convencional de drenagem optou-se por alterar a especificação do material que compõe as tubulações. Pois originalmente as tubulações eram compostas por tubos de concreto do tipo PB PA-2. Porém, o material adotado nos projetos de drenagem TR5_POA e TR5_CONV foram de PVC e PEAD.

Dessa forma, para tornar possível a comparação entre os sistemas, alterou-se o material da tubulação do projeto do sistema convencional, substituindo os tubos de concreto por tubos de PEAD com diâmetros equivalentes.

Assim, estimou-se que o custo total da implantação do sistema convencional de drenagem seja no valor de R\$ 540.429,01. No Apêndice 1 – Tabela 03 é apresentado a planilha detalhada do orçamento referente aos materiais e serviços considerados no projeto do sistema convencional.

Entre os custos dos serviços necessários para a execução do sistema convencional de drenagem, o custo das tubulações é o que causa maior impacto no orçamento, chegando a um valor de R\$ 409.331,43 no qual representa 75,74% do custo total da obra. Na Figura 39 é apresentado o custo do projeto separado por tipos de serviço.

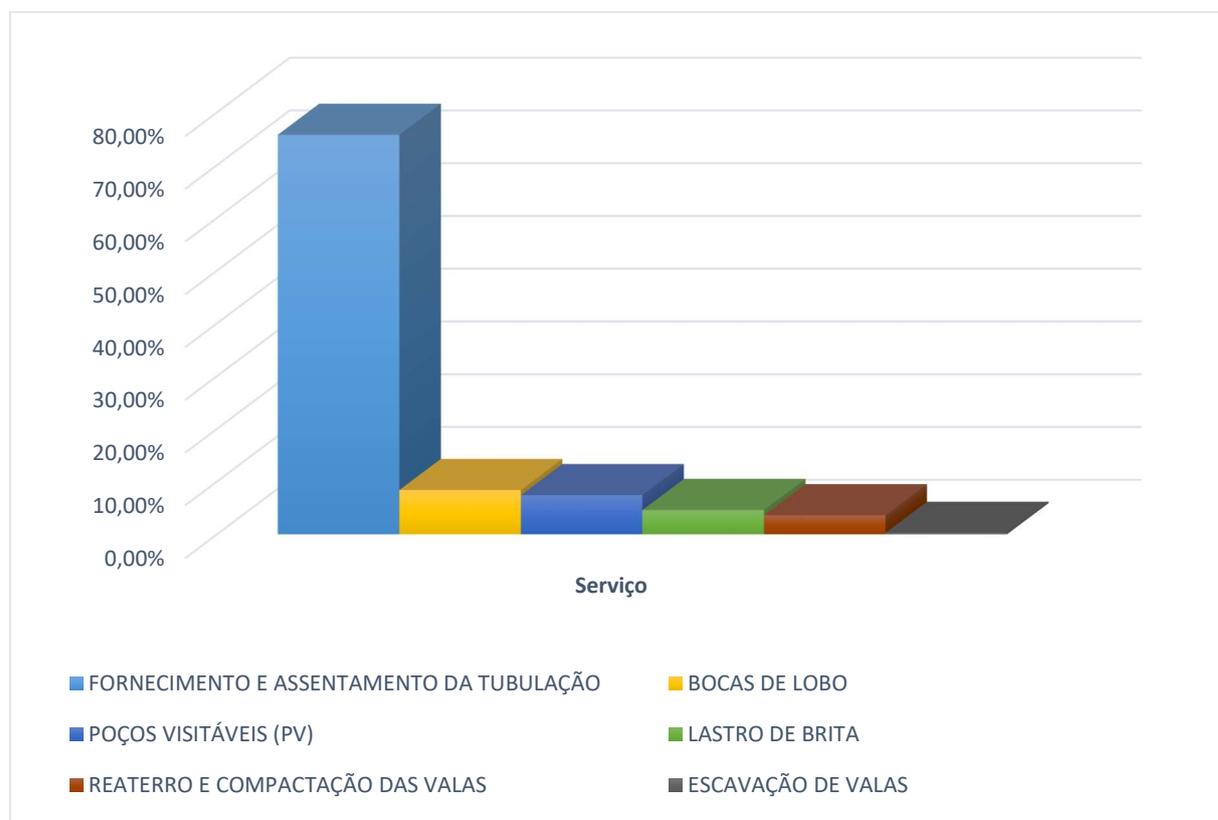
Figura 39 - Custo de implantação do sistema convencional de drenagem



Fonte: o autor

Na Figura 40 é apresentado o percentual do custo dos serviços em relação ao custo total do projeto.

Figura 40 - Relação percentual de custo dos serviços do sistema convencional



Fonte: o autor

Embora o projeto TR5_CONV tenha sido dimensionado para escoar a mesma vazão calculada no sistema convencional de drenagem, os custos da implantação das tubulações do projeto TR5_CONV é mais elevado. Isso ocorre pelo fato da rede de tubulação do projeto TR5_CONV ser implantada em ambos os lados das ruas, o que não é o caso do sistema convencional de drenagem, sendo implantada uma única rede no centro das ruas.

5.4.4 Impactos financeiros da redução de área comercializável

Nesse item, é realizada uma análise dos impactos financeiros relacionados a redução da área comercializável do loteamento, decorrente da substituição perfis originais do sistema viário por perfis adaptados ao sistema de trincheiras de retenção. Na Tabela 36 é apresentado os dados considerados na análise.

Tabela 36 - Dados do preço de venda dos lotes e largura de perfis do sistema viário

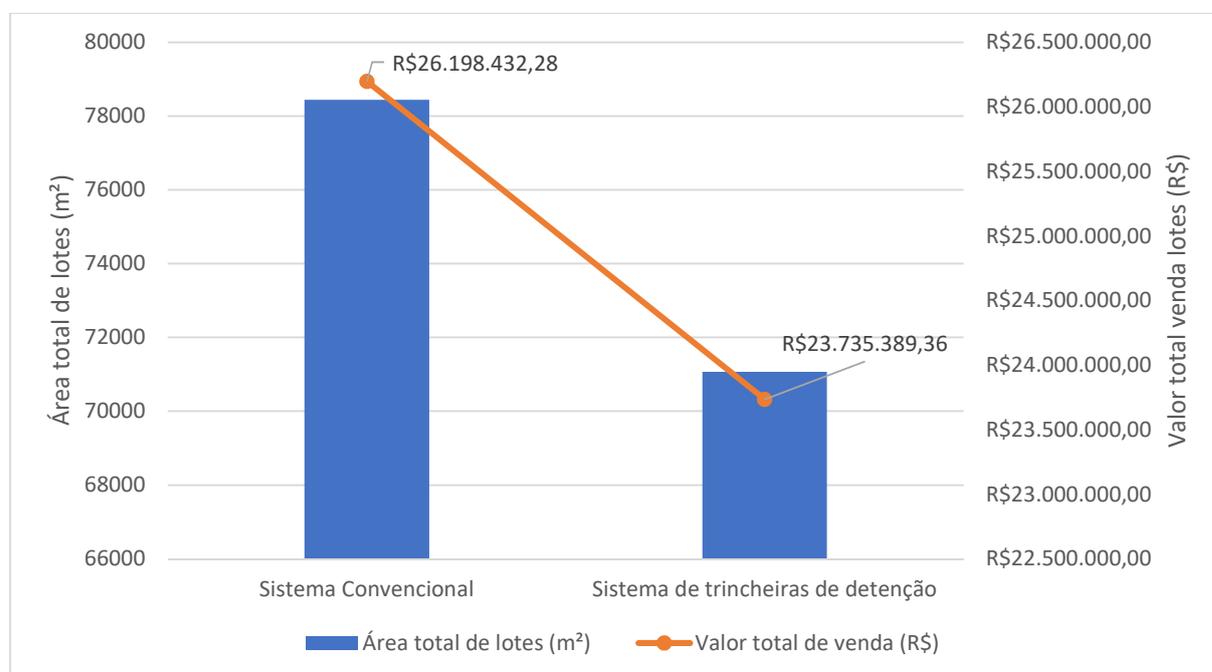
Descrição	Sistema convencional	Sistema de trincheiras de retenção
Preço médio de venda dos lotes	334,00 R\$/m ²	
Largura do perfil das vias principais	16,00 m	20,00 m
Largura do perfil das vias secundárias	13,00 m	17,00 m
Área total do sistema viário	28.249,09 m ²	35.623,47 m ²

Fonte: o autor

O sistema viário adaptado ao sistema de trincheiras de retenção ocupa 7.374,38 m² a mais que o sistema viário do projeto original, e conseqüentemente essa área deixará de ser comercializada.

Na Figura 41 é apresentado uma análise comparativa da área ocupada e do impacto financeiro entre a adoção dos perfis originais do sistema viário e os perfis adaptados ao sistema de trincheiras.

Figura 41 - Impactos financeiros relacionados a redução da área comercializável



Fonte: o autor

Portanto, ao substituir os perfis do sistema viário original por perfis que comportem espacialmente as trincheiras de retenção, é causada uma redução de R\$2.463.042,92 oriundo da venda dos lotes, representado uma redução do

faturamento de aproximadamente 9,40% em relação ao projeto com o sistema viário original.

Porém, devido a inexistência de legislações do município que tratem sobre o tema, as áreas ocupadas pelo sistema de trincheiras de detenção seriam objetos de negociação e discussão perante os órgãos públicos, visto que as áreas destinadas ao sistema se tornariam na realidade áreas de uso público. Dessa forma, existiria a possibilidade de converter um determinado percentual da área de uso público existente no projeto urbanístico original em áreas de lotes comercializáveis.

5.5 ANÁLISE COMPARATIVA DOS SISTEMAS

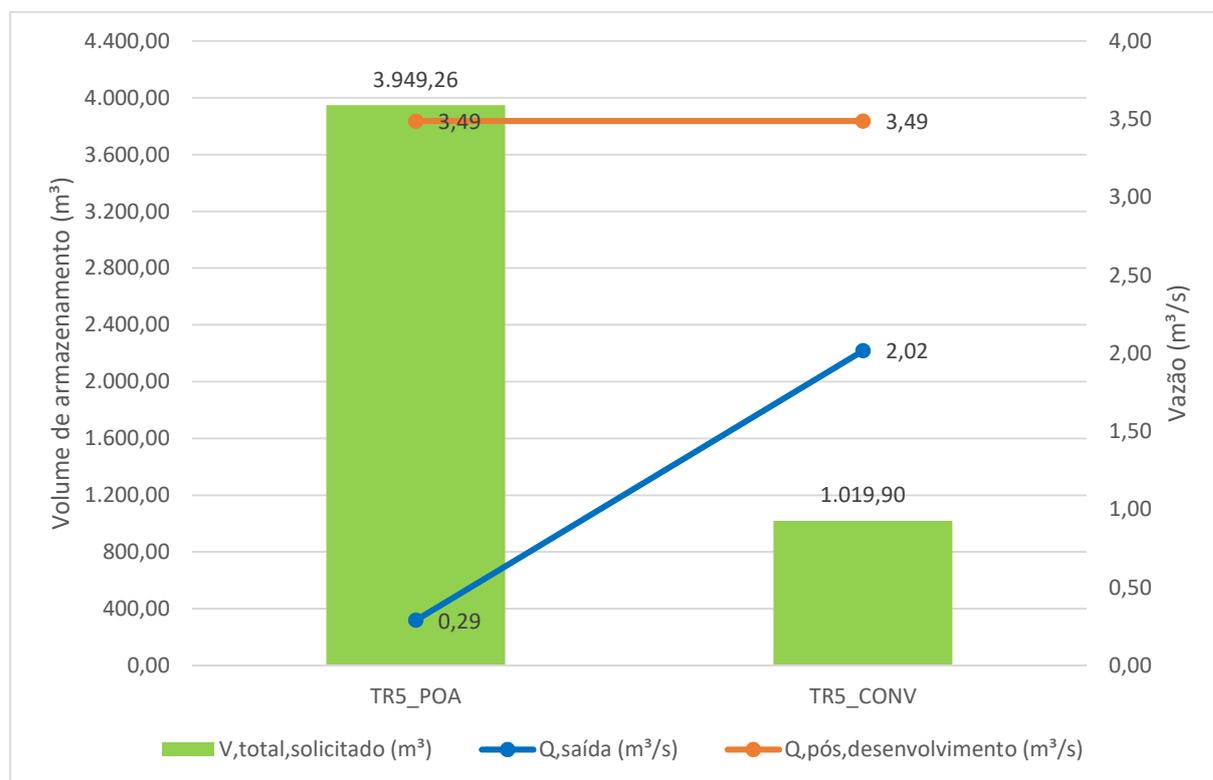
Para possibilitar as análises comparativas das vazões escoadas, calculou-se a vazão total de pós desenvolvimento da área do loteamento. Através do Método Racional, utilizando os coeficientes de escoamento e as áreas de contribuição informados na Tabela 18, e uma intensidade de precipitação de 136,36 mm/h, resultou-se em uma vazão escoada de 3,49 m³/s.

Nota-se que a vazão escoada superficialmente de 3,49 m³/s é maior que a vazão informada nas planilhas de dimensionamento do sistema convencional, onde apresenta um valor de 2,02 m³/s. Isso ocorre devido as decisões adotadas pelo projetista do sistema convencional, entre as mais significativas é a intensidade de precipitação, o coeficiente de escoamento adotado e as delimitações das áreas de contribuição. O projetista adota uma intensidade de precipitação de 121,62 mm/h, um coeficiente de escoamento superficial de 0,60 e desconsidera a influência das áreas de preservação do verde.

Essa diferença de valor entre a vazão de pós desenvolvimento calculada e a vazão informada na tabela de dimensionamento do sistema convencional explica os resultados de dimensionamento do projeto TR5_CONV. Onde obteve-se um volume de 1019,90 m³ de armazenamento solicitado, um valor considerado elevado, levando-se em conta que o sistema de trincheiras seria dimensionado para ter um pico de vazão idêntico a vazão obtida no sistema convencional de drenagem.

Na Figura 42 é apresentada uma relação entre os volumes totais de armazenamento solicitado dos projetos TR5_POA e TR5_CONV com as vazões de pós desenvolvimento e vazões de saída de cada projeto.

Figura 42 - Relação entre volume de armazenamento e vazões

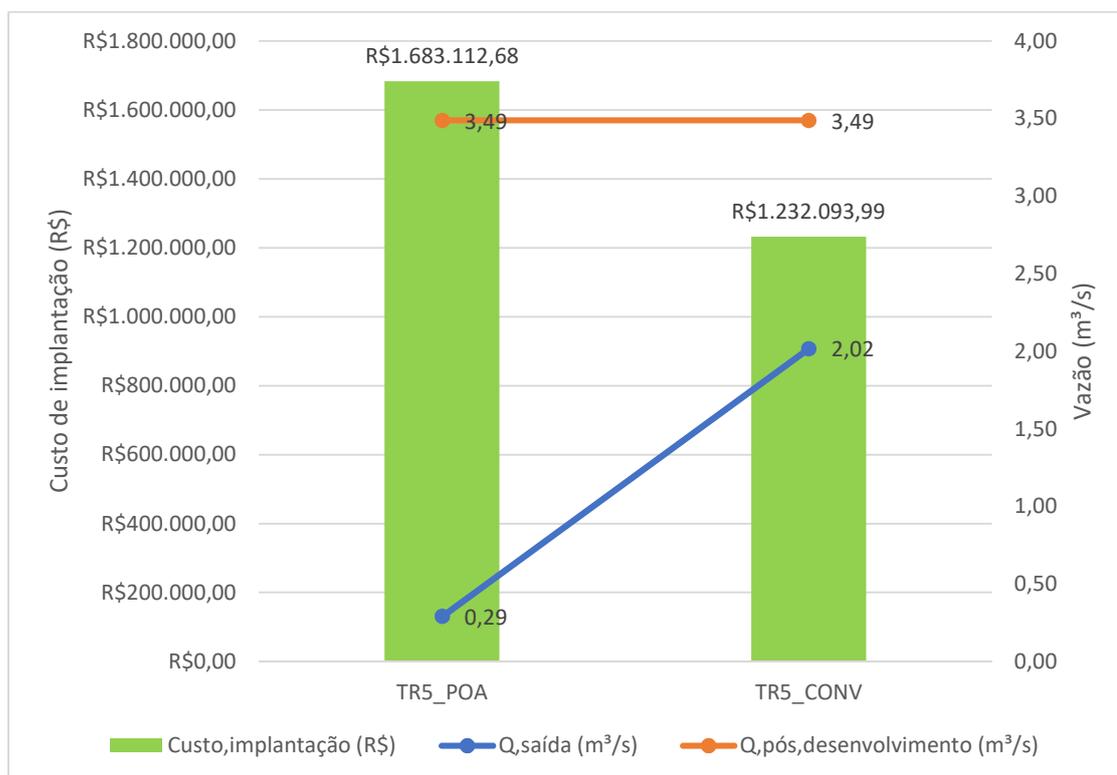


Fonte: o autor

O volume de armazenamento solicitado do projeto TR5_POA é consideravelmente maior que o volume solicitado no projeto TR5_CONV devido a restrição da vazão de saída, na qual para o projeto TR5_POA estabeleceu-se uma vazão de pré desenvolvimento da área, enquanto que para o projeto TR5_CONV estabeleceu-se uma maior vazão, não sendo tão conservadora quanto a vazão de pré desenvolvimento.

Na Figura 43 é apresentada uma relação entre o custo total de implantação dos projetos TR5_POA e TR5_CONV com as suas respectivas vazões de saída.

Figura 43 - Relação entre custo de implantação e vazões de saída



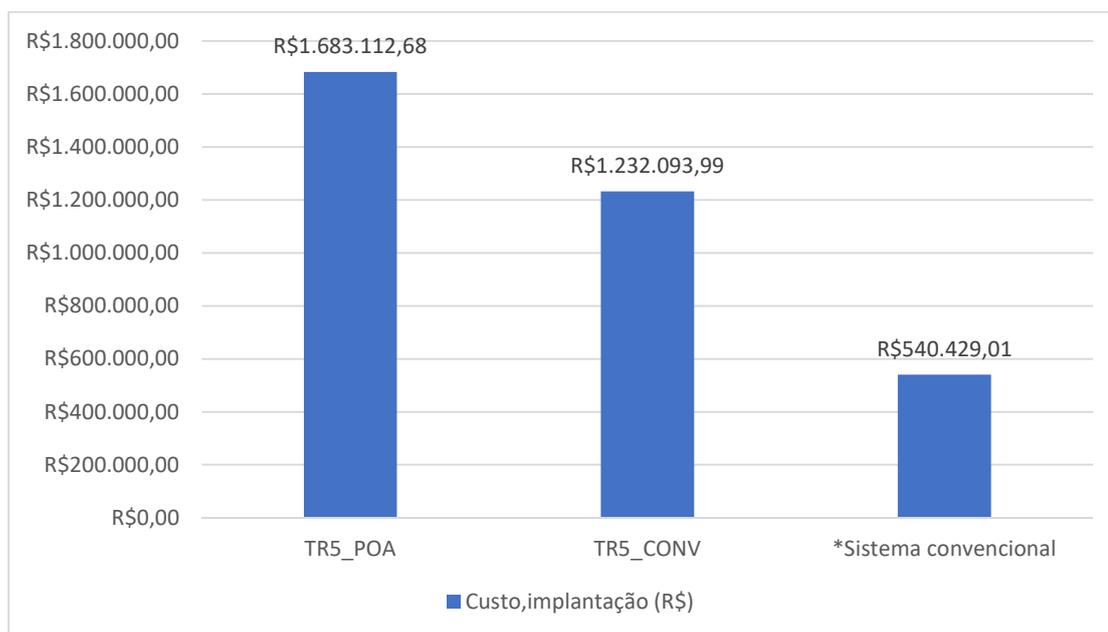
Fonte: o autor

O projeto TR5_POA é capaz de atenuar 91,67% do pico da vazão de pós desenvolvimento do loteamento, e o projeto TR5_CONV atenua 42,17% deste mesmo pico.

O custo de implantação do projeto TR5_POA é 36,61% maior que o custo do projeto TR5_CONV. Porém, a vazão de saída do projeto TR5_POA é 85,60% menor que a vazão de saída do projeto TR5_CONV. Portanto, os sistemas de drenagem com trincheiras de detenção tornam-se vantajosos no ponto de vista técnico e financeiro quando se estabelecem restrições de vazões mais conservadoras.

Na Figura 44, além dos custos de implantação dos projetos TR5_POA e TR5_CONV, é apresentado os custos de implantação do sistema convencional de drenagem. Destaca-se que na estimativa dos custos da implantação do sistema convencional de drenagem substituiu-se os tubos de concreto tipo PBPA-2 por tubulação de PEAD.

Figura 44 - Custo total de implantação dos sistemas avaliados



Fonte: o autor

O projeto TR5_POA é capaz de atenuar 91,67% do pico da vazão de pós desenvolvimento do loteamento, e o custo de implantação desse projeto é 211,44% maior que do sistema convencional.

O projeto TR5_CONV é capaz de atenuar 42,17% do pico da vazão de pós desenvolvimento do loteamento, e o custo de implantação desse projeto é 127,98% maior que do sistema convencional.

O sistema convencional de drenagem não é capaz de atenuar os picos da vazão de pós desenvolvimento do loteamento.

5.6 SITUAÇÕES POTENCIAIS IDENTIFICADAS PARA O USO DE TRINCHEIRAS

Com base nos resultados obtidos verificou-se que os sistemas de drenagem com trincheiras de retenção tornam-se tecnicamente e economicamente viáveis na medida que são implantadas em determinadas condições, entre elas:

- quando se restringe a vazão de saída do sistema às vazões de pré desenvolvimento da área;
- quando o projeto urbanístico do loteamento é desenvolvido prevendo a implantação das trincheiras de retenção;
- quando as trincheiras são implantadas em terrenos de baixa declividade;

- d) quando as trincheiras recebem águas de pequenas áreas de contribuição;
- e) quando a área de contribuição do sistema possua índices de permeabilidade de água no solo;
- f) quando as trincheiras de retenção atuam em conjunto com estruturas de retenção individuais de cada lote;
- g) quando existem restrições de espaço destinados a implantação de bacias de retenção.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho buscou aplicar uma dentre as mais diversas técnicas compensatórias de drenagem pluvial, verificando a viabilidade técnica e econômica da implantação de um sistema de trincheiras de retenção em um loteamento residencial no município de Flores da Cunha.

O custo de implantação do projeto TR5_POA é consideravelmente elevado, no qual é 211,44% maior que o custo de implantação do sistema convencional de drenagem. Porém, devem ser avaliados todos os benefícios gerados pela utilização do sistema de trincheiras de retenção.

As reduções do pico de vazão a jusante do loteamento são de grande importância e devem ser consideradas no momento da definição do sistema de drenagem pluvial, pois as contribuições do sistema convencional de drenagem podem, eventualmente, acentuar os casos de alagamentos das áreas a jusante do loteamento. Portanto, o projeto TR5_POA é o mais recomendado ao loteamento em estudo, visto que ele atenua o pico de vazão de pós-desenvolvimento de 3,49 m³/s a uma vazão de pré-desenvolvimento de 0,29 m³/s, apresentando uma redução de 91,67% do pico da vazão gerada pelo loteamento, e ao mesmo tempo entrega à população uma área de lazer.

Os sistemas de trincheiras de retenção podem proporcionar à população do entorno do loteamento benefícios sociais e econômicos relacionados a redução da probabilidade de alagamentos na região, e também pode proporcionar benefícios ambientais relacionados a redução dos processos erosivos e, conseqüentemente, atenuando os processos de assoreamento e de degradação dos corpos d'água a jusante do loteamento.

Sugere-se que sejam realizados estudos referentes ao custo de manutenção dos sistemas de trincheiras de retenção. Indica-se também, a realização de estudos comparativos entre os sistemas de trincheiras de retenção e bacias de retenção. E em relação aos pavimentos permeáveis, sugere-se a realização de estudos que avaliem a capacidade de permeabilidade da água em pavimentos localizados em terrenos inclinados, bem como, seja avaliada a permeabilidade da água em pavimentos submetidos ao tráfego de veículos.

7 REFERÊNCIAS

AGRA, S. G. **Estudo experimental de micro reservatórios para controle do escoamento superficial** 2001. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

BALLARD, B. W. et al. **The SuDS Manual**. 5º. ed. Londres: Departament for Environment Food & Rural Affairs, 2015.

BAPTISTA, M.; NASCIMENTO, N.; BARRAUD, S. **Técnicas Compensatórias em Drenagem Urbana**. 2º. ed. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos - ABRH, 2015.

BIDIM MEXICHEM. **Soluções em geossintéticos**. São José dos Campos: Mexichem Bidim Ltda, 2009. Disponível em: <https://www.aecweb.com.br/cls/catalogos/bidim/folder_geotextil.pdf>. Acesso em: Outubro 2018.

CARDOSO NETO, A. Agência Nacional de Águas. **Sistemas Urbanos de Drenagem**, 1998. Disponível em: <http://www.ana.gov.br/AcoesAdministrativas/CDOC/ProducaoAcademica/Antonio%20Cardoso%20Neto/Introducao_a_drenagem_urbana.pdf>. Acesso em: Abril 2018.

DNIT. **Manual de drenagem de rodovias**. 2º. ed. Rio de Janeiro: Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes, 2006.

FINOTTI, A. R. et al. **Curvas IDF para Caxias do Sul e região**. Universidade de Caxias do Sul. Caxias do Sul. 2009.

FLORES DA CUNHA. Lei Complementar N° 046, de 28 de Agosto de 2008. **Plano diretor municipal de Flores da Cunha**, 2008. Disponível em: <http://www.camaraflores.rs.gov.br/_uploads/legislacao/legislacao_3055_0_nor.pdf>. Acesso em: Junho 2018.

FLORES DA CUNHA. Lei Municipal N° 3.174, de 04 de Março de 2015. **Plano municipal de educação**, 2015. Disponível em:

<http://www.camaraflores.rs.gov.br/_uploads/legislacao/legislacao_4036_0_nor.pdf>.

Acesso em: Junho 2018.

FLORES, C. A. F. et al. **Levantamento semidetalhado de solos:** Região da Serra Gaúcha. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2007. Disponível em: <http://www.aune.rs.gov.br/downloads/planejamento_regional/corede_solos/Flores%20da%20Cunha%20Solos.pdf>. Acesso em: Junho 2018.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Demográfico**, 2010. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rs/flores-da-cunha/panorama>>. Acesso em: Junho 2018.

MIGUEZ, M. G.; VERÓL, A. P.; REZENDE, O. M. **Drenagem Urbana:** do projeto tradicional à sustentabilidade. 1º. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2016.

NASCIMENTO, N. O.; BAPTISTA, M. B. Técnicas Compensatórias em Águas Pluviais. In: RIGHETTO, A. M. (Org.) **Manejo de Águas Pluviais - PROSAB 5 Tema 4.** Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental - ABES, 2009. Cap. 4, p. 149-197.

OHNUMA JUNIOR, A. A. **Medidas não convencionais de reservação d'água e controle da poluição hídrica em lotes domiciliares** 2008. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Ambiental, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

PORTO, R. et al. Drenagem Urbana. In: TUCCI, C. E. M. (Org.) **Hidrologia:** Ciência e Aplicação. 4º. ed. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2009. Cap. 21, p. 805-847.

PREFEITURA DE PORTO ALEGRE. **Plano diretor de drenagem urbana:** manual de drenagem urbana. Porto Alegre: Departamento de esgotos pluviais, v. VI, 2005a.

PREFEITURA DE PORTO ALEGRE. **Caderno de Encargos do Departamento de Esgotos Pluviais.** Porto Alegre: Departamento de Esgotos Pluviais, 2005b.

PREFEITURA DO RIO DE JANEIRO. **Instruções técnicas para elaboração de estudos hidrológicos e dimensionamento hidráulico de sistemas de drenagem**

urbana. Rio de Janeiro: Secretaria Municipal de Obras. Subsecretaria de Gestão de Bacias Hidrográficas, 2010.

REGINATO, P. A. R.; AHLERT, S. Vulnerabilidade do sistema aquífero serra geral na região nordeste do Rio Grande do Sul. **Águas Subterrâneas**, São Paulo, p. 32-46, Março 2013.

RIGHETTO, A. M.; MOREIRA, L. F. F.; SALES, T. E. A. Manejo de Águas pluviais Urbanas. In: RIGHETTO, A. M. (Org.) **Manejo de Águas Pluviais Urbanas - PROSAB 5 Tema 4**. 1º. ed. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental - ABES, 2009. Cap. 1, p. 19-73.

SANTOS, L. C. C. **Estimativa de vazões máximas de projeto por métodos determinísticos e probabilísticos** 2010. 172 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2010.

SARTORI, A.; NETO, F. L.; GENOVEZ, A. M. Classificação Hidrológica de Solos Brasileiros para a Estimativa da Chuva Excedente com o Método do Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos Parte 1: Classificação. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 10, n. 4, p. 05-18, Out/Dez 2005.

SILVEIRA, A. L. L. Ciclo hidrológico e bacia hidrográfica. In: TUCCI, C. E. M. (Org.) **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. 4º. ed. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2009. Cap. 2, p. 35-51.

SILVEIRA, A. L. L.; GOLDENFUM, J. A. Metodologia Generalizada para Pré-Dimensionamento de Dispositivos de Controle Pluvial na Fonte. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 12, n. 2, p. 157-158, Abril 2007.

SOUZA, C. F.; CRUZ, M. A. S.; TUCCI, C. E. M. Desenvolvimento Urbano de Baixo Impacto: Planejamento e Tecnologias Verdes para a Sustentabilidade das Águas Urbanas. **Revista brasileira de recursos hídricos**, Porto Alegre, v. 17, n. 2, p. 9-18, Abr/Jun 2012.

SOUZA, V. C. B. **Estudo experimental de trincheiras de infiltração no controle da geração do escoamento superficial** 2002. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, IPH - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.

SOUZA, V. C. B.; GOLDENFUM, J. A. Trincheiras de infiltração como elemento de controle do escoamento superficial: um estudo experimental. In: TUCCI, C. E. M.; MARQUES, D. M. L. D. M. (Org.) **Avaliação e controle de drenagem urbana**. 1º. ed. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos - ABRH, v. II, 2001. p. 391-401.

SUDERHSA. **Plano diretor de drenagem urbana**: Manual de drenagem. 1. ed. Curitiba: Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, 2002.

TOMAZ, P. **Curso de Manejo de Águas Pluviais**. Guarulhos: Navegar, 2010. Disponível em: <http://www.pliniotomaz.com.br/downloads/capitulo17_hidraulica.pdf>. Acesso em: Outubro 2018.

TUCCI, C. E. M. **Gestão das Inundações Urbanas**. Porto Alegre: Texto para curso de mesmo título, 2005.

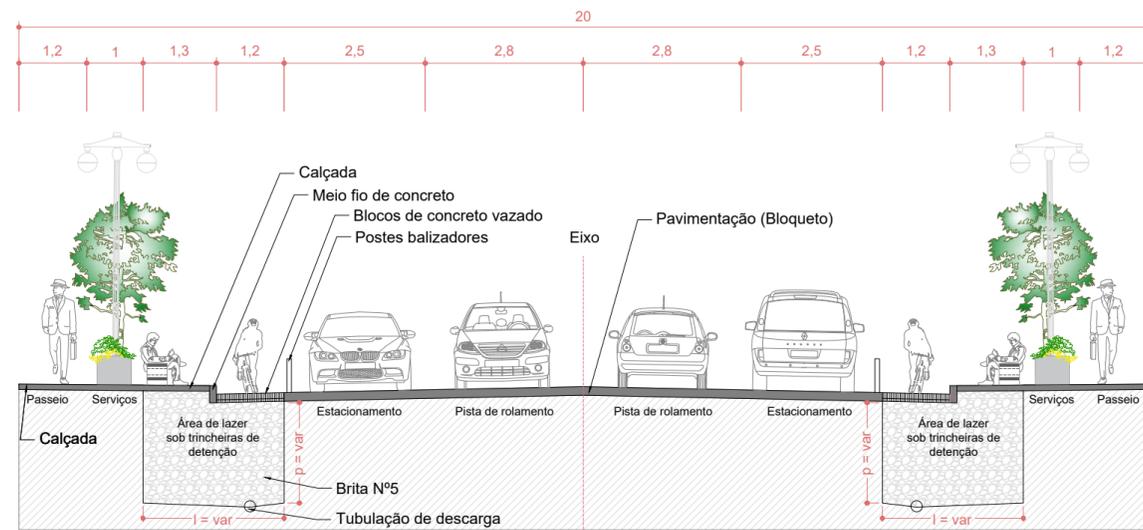
TUCCI, C. E. M. **Saneamento para todos - Gestão de águas pluviais urbanas**. Brasília: Programa de Modernização do Setor Saneamento - PMSS, v. IV, 2005.

TUCCI, C. E. M. Controle de Enchentes. In: TUCCI, C. E. M. (Org.) **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. 4º. ed. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos - ABRH, 2009. p. 621-658.

TUCCI, C. E. M.; MENDES, C. A. **Avaliação Ambiental Integrada de Bacia Hidrográfica**. 2º. ed. Brasília: Programa de Proteção e Melhoria da Qualidade Ambiental - PQA, 2006.

8 APÊNDICE 1

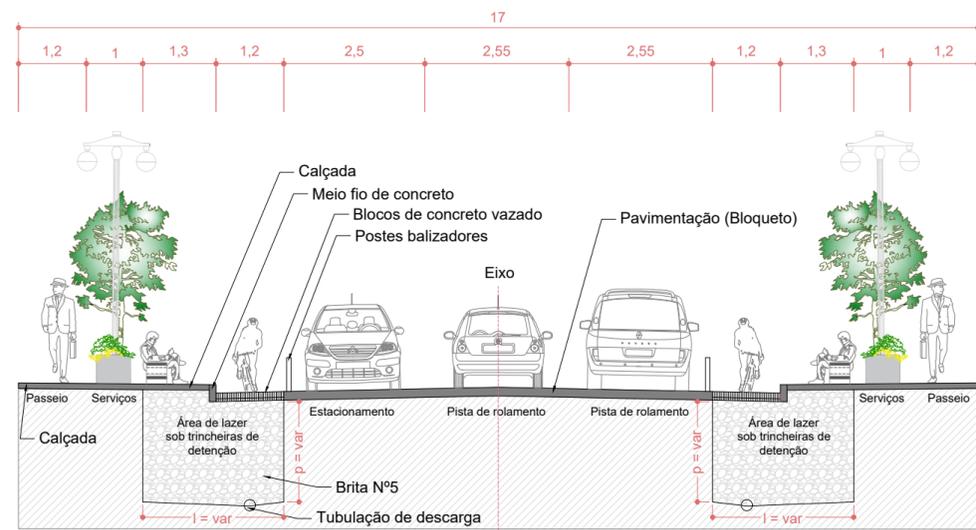
- Planta 01 - Gabaritos originais e adaptados de sistema viário
- Planta 02 - Gabaritos adaptados e simulações 3D
- Planta 03 - Locação de trincheiras e áreas de contribuição
- Planta 04 - Projeto de terraplenagem do sistema viário
- Planta 05 - Projeto de trincheiras de retenção – TR5_POA
- Planta 06 - Projeto da rede de tubulações – TR5_POA
- Planta 07 - Projeto de trincheiras de retenção – TR5_CONV
- Planta 08 - Projeto da rede de tubulações – TR5_CONV
- Planta 09 – Detalhamento das divisórias impermeáveis
- Planta 10 – Detalhamento dos orifícios – TR5_POA
- Planta 11 – Detalhamento dos orifícios – TR5_CONV
- Planta 12 – Detalhamento dos poços de visita
- Tabela 01 - Planilha orçamentária – Projeto TR5_POA
- Tabela 02 - Planilha orçamentária – Projeto TR5_CONV
- Tabela 03 - Planilha orçamentária – Sistema convencional
- Tabela 04 - Verificação da permeabilidade d'água – Projeto TR5_POA
- Tabela 05 - Verificação da permeabilidade d'água – Projeto TR5_CONV



Ruas Principais
Substitui o gabarito original de 16,0m de largura



Simulações em 3D
S/ esc.



Ruas Secundárias
Substitui o gabarito original de 13,0m de largura

Nota:
a. Quando não indicada a unidade de medida, considerar em metros;



CURSO DE ENGENHARIA CIVIL
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

ASSUNTO:
GABARITOS DO SISTEMA VIÁRIO ADAPTADOS AO SISTEMA DE TRINCHEIRAS DE DETENÇÃO

GABARITOS TRANSVERSAIS E SIMULAÇÕES EM 3D

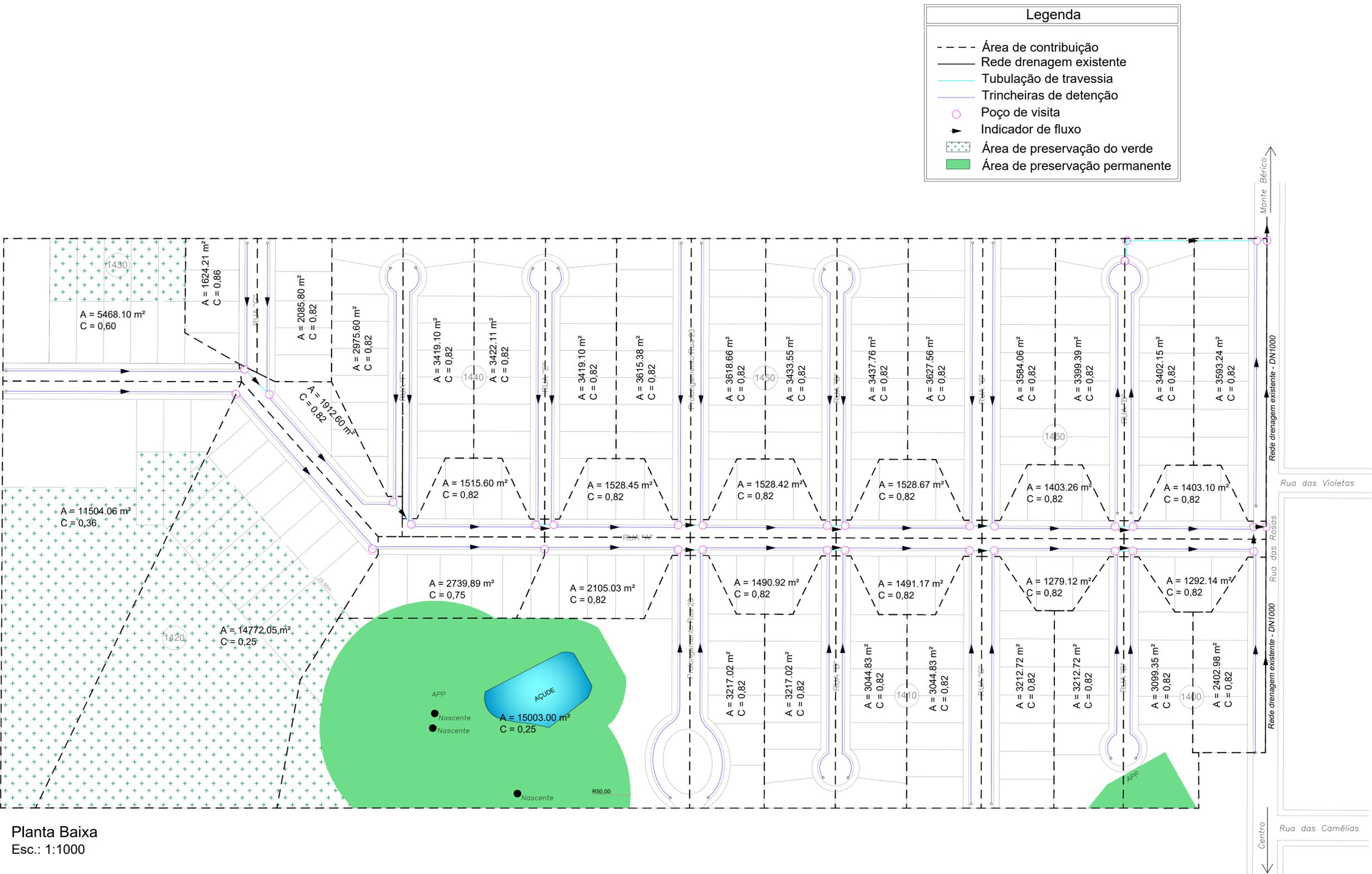
ACADÊMICO:
GABRIEL ROBERTO SILVESTRI

ORIENTADOR:
TIAGO PANIZZON

DATA:
NOV/2018

ESCALA:
1:100

PRANCHA:
02



Planta Baixa
Esc.: 1:1000

UCS UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL

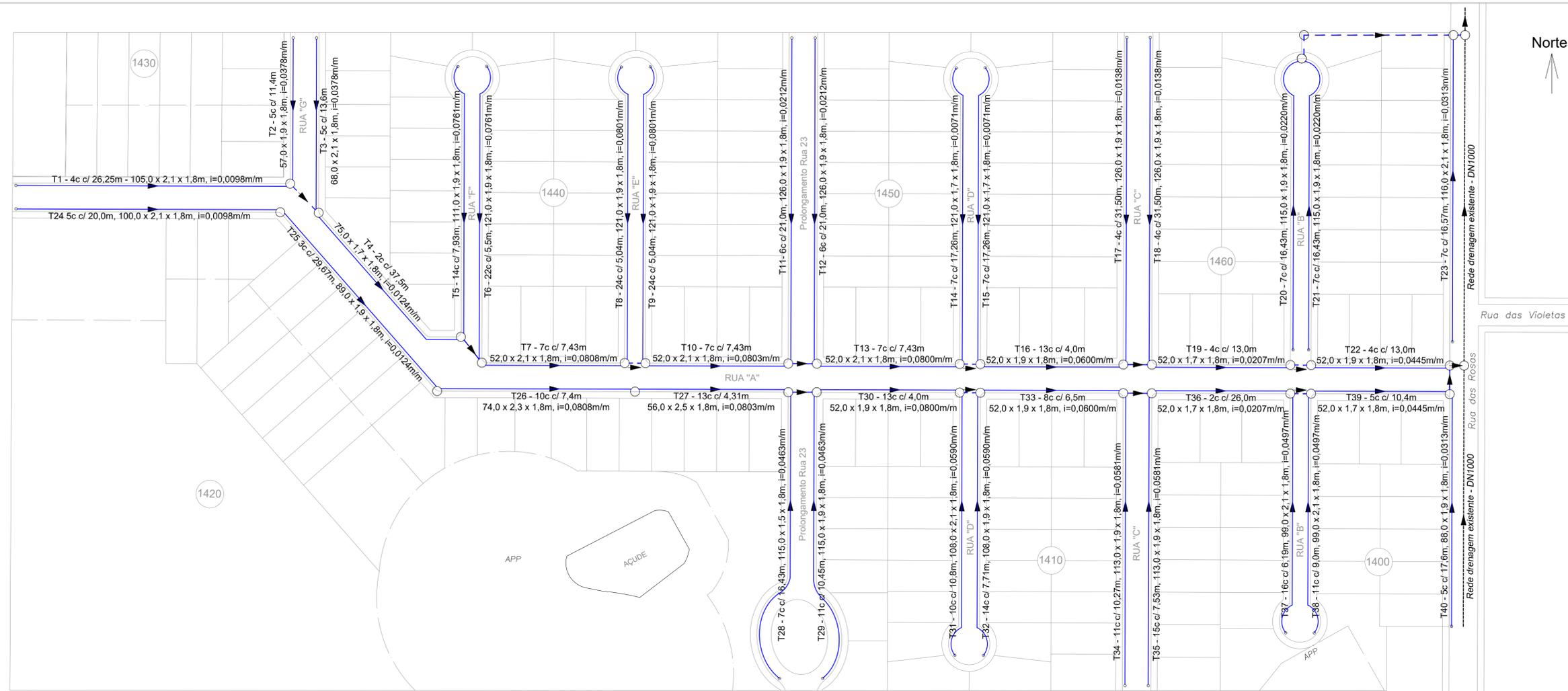
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

ASSUNTO:
LOCAÇÃO DO SISTEMA DE TRINCHEIRAS E ÁREAS DE CONTRIBUIÇÃO PLUVIAL

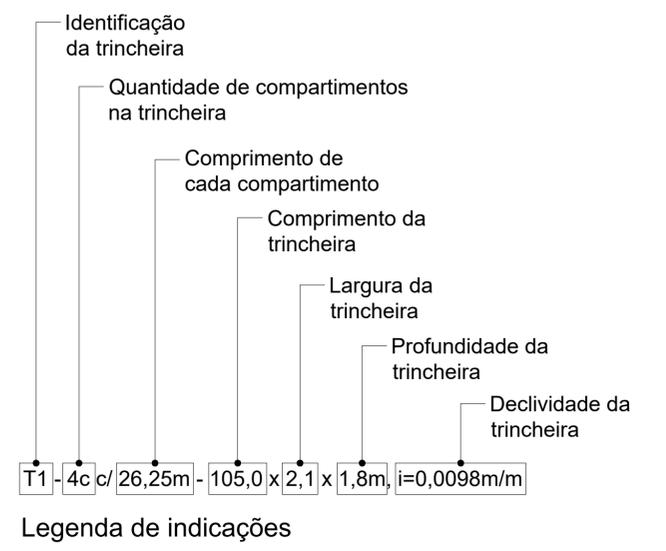
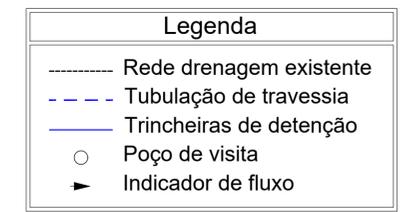
PLANTA BAIXA

ACADÊMICO:
GABRIEL ROBERTO SILVESTRI

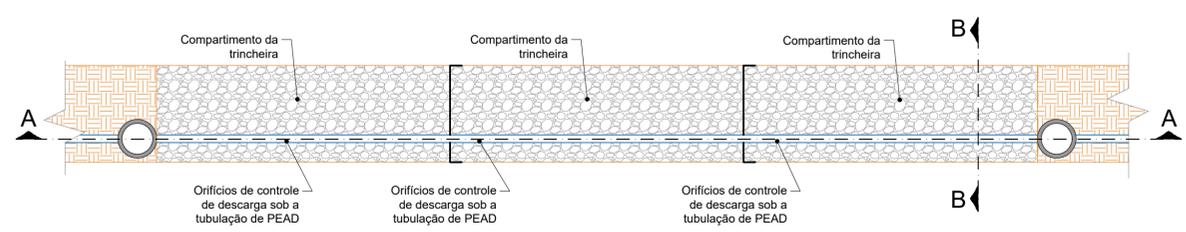
ORIENTADOR: TIAGO PANIZZON	DATA: NOV/2018	ESCALA: INDICADA	PRANCHA: 03
-------------------------------	-------------------	---------------------	----------------



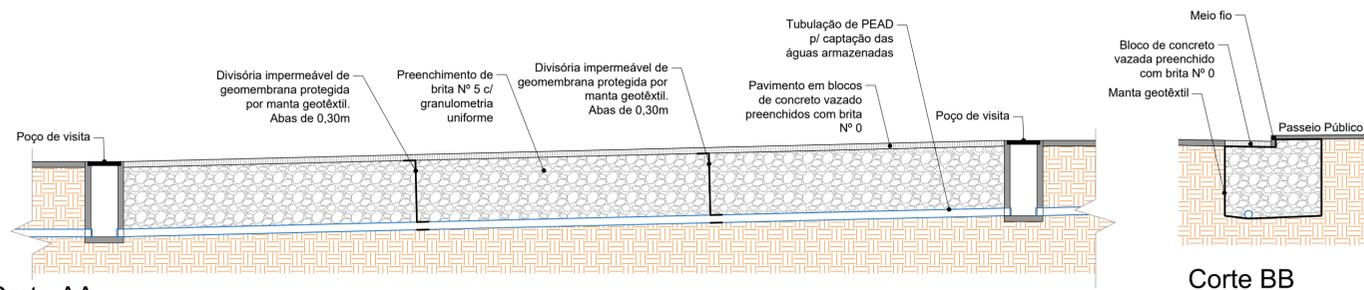
Norte



Planta Baixa
Esc.: 1:1000



Planta Baixa Genérica - Trincheiras
Esc.: 1:100



Corte AA
Esc.: 1:100

Corte BB
Esc.: 1:100

ID	Ø (mm)	Quantidade de orifícios por compartimento	ID	Ø (mm)	Quantidade de orifícios por compartimento
T1	10	13 orif./compart.	T21	6	13 orif./compart.
T2	6	9 orif./compart.	T22	6	10 orif./compart.
T3	6	12 orif./compart.	T23	6	15 orif./compart.
T4	6	26 orif./compart.	T24	10	22 orif./compart.
T5	6	6 orif./compart.	T25	10	48 orif./compart.
T6	6	5 orif./compart.	T26	6	8 orif./compart.
T7	6	6 orif./compart.	T27	6	5 orif./compart.
T8	6	4 orif./compart.	T28	10	20 orif./compart.
T9	6	4 orif./compart.	T29	6	8 orif./compart.
T10	6	7 orif./compart.	T30	6	4 orif./compart.
T11	6	17 orif./compart.	T31	6	9 orif./compart.
T12	6	17 orif./compart.	T32	6	6 orif./compart.
T13	6	7 orif./compart.	T33	6	5 orif./compart.
T14	6	13 orif./compart.	T34	6	8 orif./compart.
T15	6	13 orif./compart.	T35	6	6 orif./compart.
T16	6	4 orif./compart.	T36	6	18 orif./compart.
T17	6	25 orif./compart.	T37	6	6 orif./compart.
T18	6	25 orif./compart.	T38	6	8 orif./compart.
T19	6	10 orif./compart.	T39	6	7 orif./compart.
T20	6	13 orif./compart.	T40	6	14 orif./compart.

Relação de orifícios

Notas:

- As dimensões das trincheiras devem obedecer as especificações informadas em planta baixa;
- As trincheiras devem ser revestidas com manta geotêxtil;
- As divisórias de cada compartimento deve ser executada com uma geomembrana revestida por uma manta geotêxtil em ambas as faces;
- A perfuração dos orifícios devem ser realizadas na tubulação localizada no fundo das trincheiras;
- Os orifícios devem se localizar na região mais inferior do compartimento.

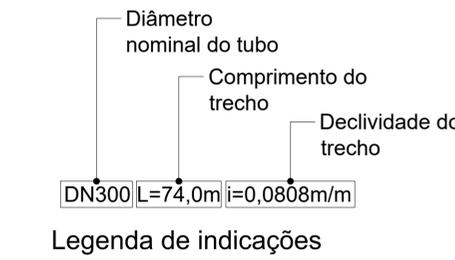
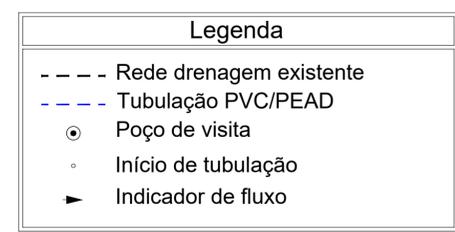
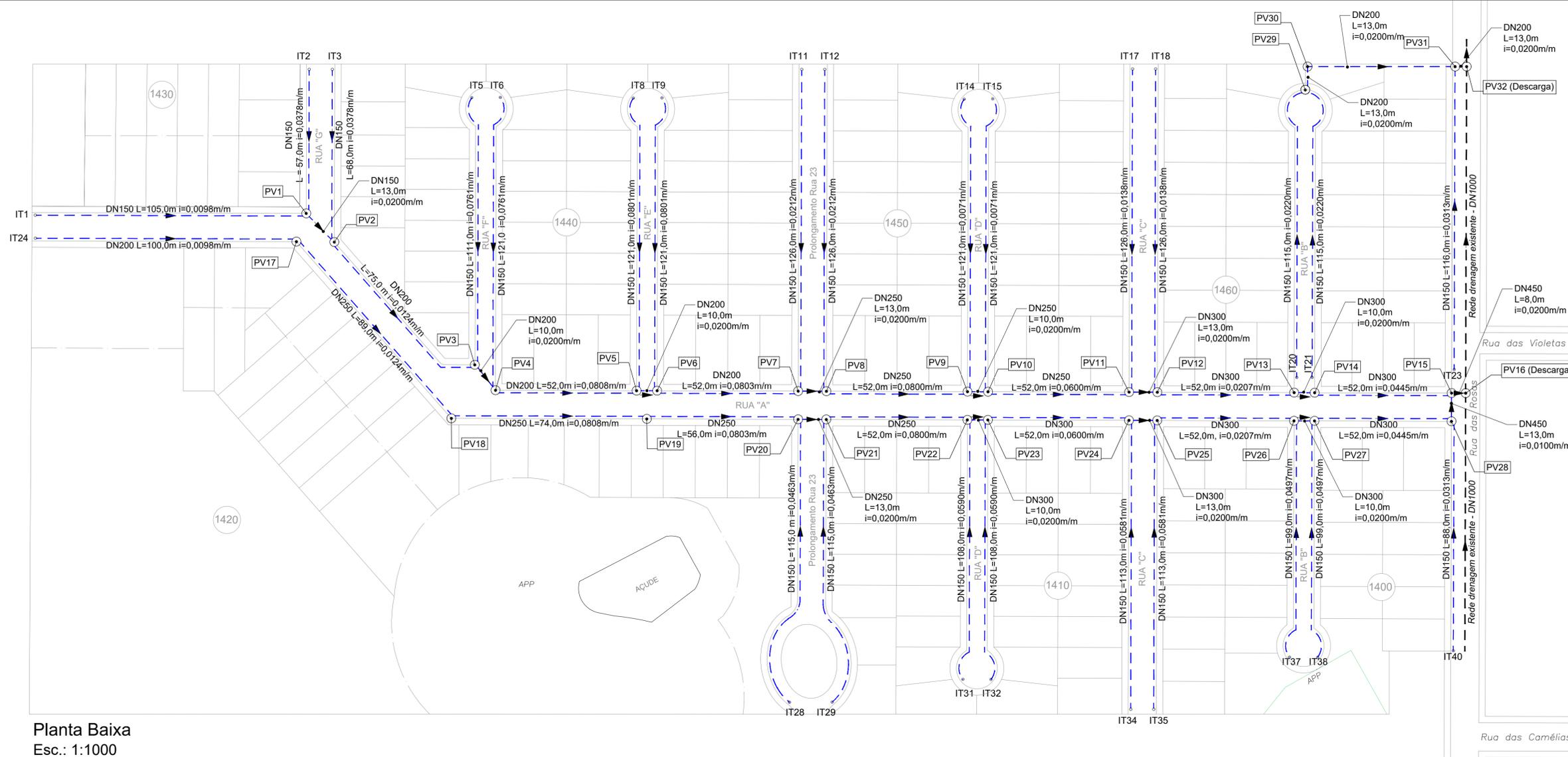
UCS CURSOS DE ENGENHARIA CIVIL
UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

ASSUNTO:
PROJETO DE TRINCHEIRAS DE DETENÇÃO - TR5_POA

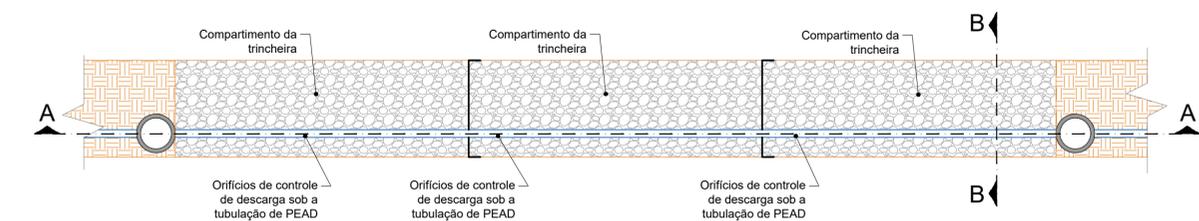
PLANTA BAIXA E DETALHES DA TRINCHEIRA

ACADÊMICO:
GABRIEL ROBERTO SILVESTRI

ORIENTADOR: TIAGO PANIZZON	DATA: NOV/2018	ESCALA: INDICADA	PRANCHA: 05
-------------------------------	-------------------	---------------------	----------------

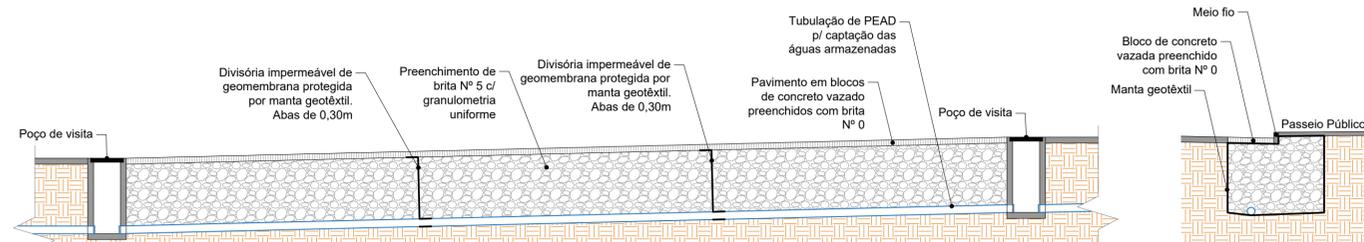


Planta Baixa
Esc.: 1:1000



Planta Baixa Genérica - Trincheiras
Esc.: 1:100

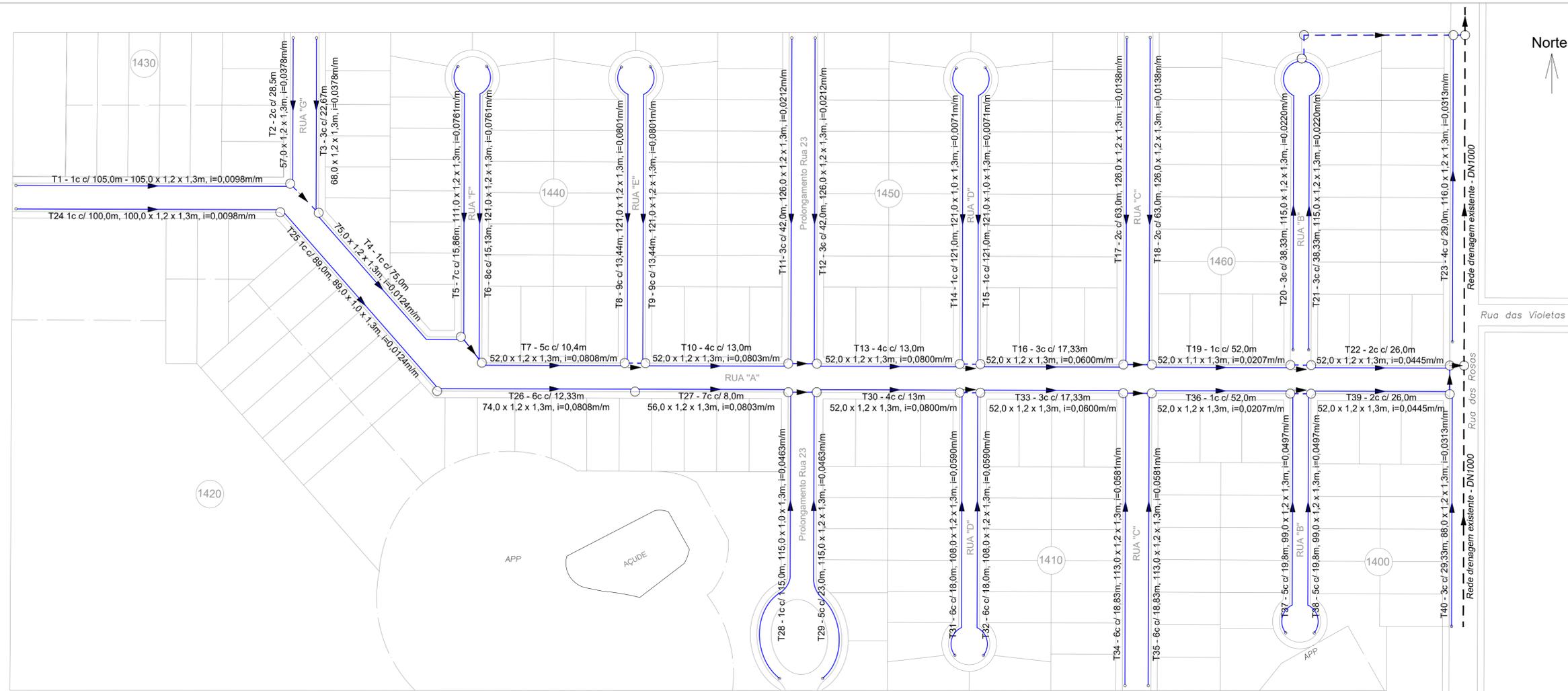
- Notas:
- Os diâmetros das tubulações devem obedecer as informações especificadas em projeto;
 - Devem executadas as perfurações dos orifícios nas tubulações de cada compartimento conforme especificado no projeto de TRINCHEIRAS DE DETENÇÃO;
 - O material dos tubos são de PEAD, exceto tubos DN150 e DN200 no qual são de PVC.



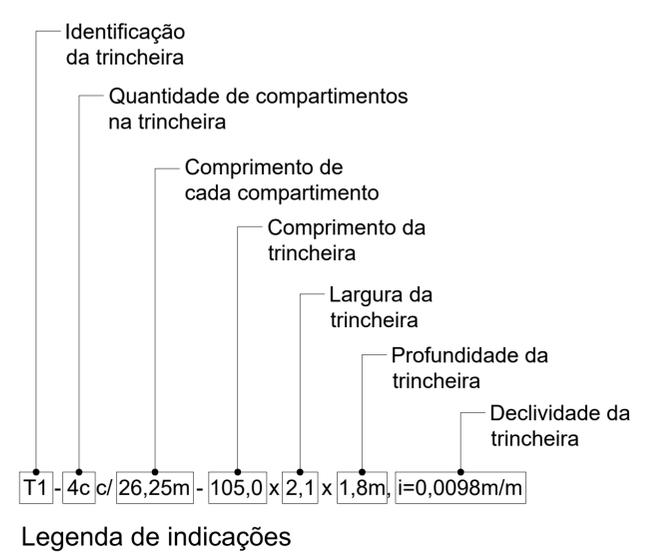
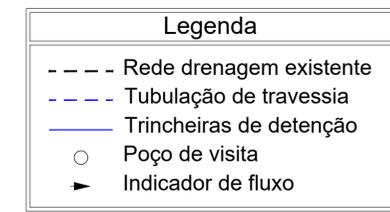
Corte AA
Esc.: 1:100

Corte BB
Esc.: 1:100

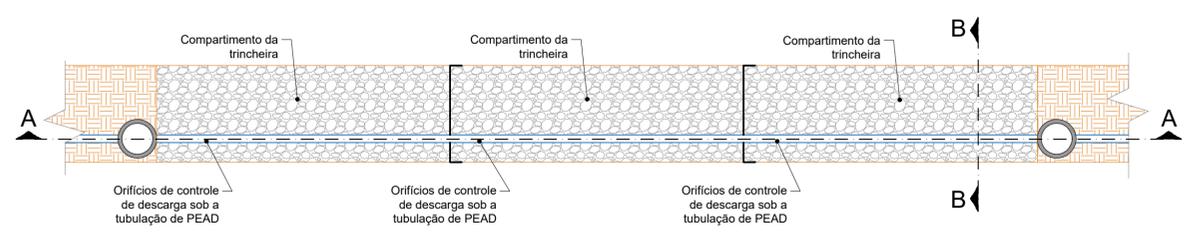
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO			
ASSUNTO: PROJETO DE REDE DE TUBULAÇÕES - TR5_POA			
PLANTA BAIXA E DETALHES DA TRINCHEIRA			
ACADÊMICO: GABRIEL ROBERTO SILVESTRI			
ORIENTADOR: TIAGO PANIZZON	DATA: NOV/2018	ESCALA: INDICADA	PRANCHA: 06



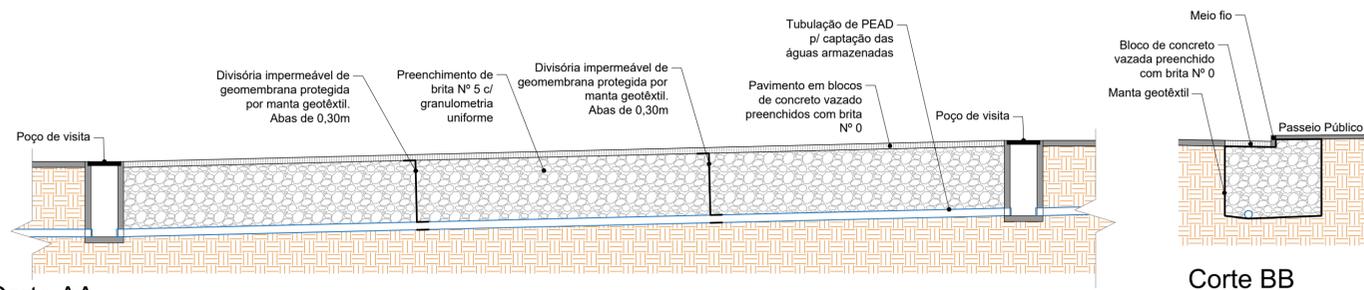
Norte



Planta Baixa
Esc.: 1:1000



Planta Baixa Genérica - Trincheiras
Esc.: 1:100



Corte AA
Esc.: 1:100

Corte BB
Esc.: 1:100

ID	Ø (mm)	Quantidade de orifícios por compartimento	ID	Ø (mm)	Quantidade de orifícios por compartimento
T1	12	364 orif./compart.	T21	12	72 orif./compart.
T2	12	55 orif./compart.	T22	12	49 orif./compart.
T3	12	44 orif./compart.	T23	12	58 orif./compart.
T4	12	124 orif./compart.	T24	12	753 orif./compart.
T5	12	30 orif./compart.	T25	12	1005 orif./compart.
T6	12	30 orif./compart.	T26	12	30 orif./compart.
T7	12	19 orif./compart.	T27	12	18 orif./compart.
T8	12	26 orif./compart.	T28	12	842 orif./compart.
T9	12	26 orif./compart.	T29	12	44 orif./compart.
T10	12	26 orif./compart.	T30	12	25 orif./compart.
T11	12	77 orif./compart.	T31	12	36 orif./compart.
T12	12	77 orif./compart.	T32	12	34 orif./compart.
T13	12	26 orif./compart.	T33	12	34 orif./compart.
T14	12	217 orif./compart.	T34	12	35 orif./compart.
T15	12	217 orif./compart.	T35	12	37 orif./compart.
T16	12	34 orif./compart.	T36	12	87 orif./compart.
T17	12	115 orif./compart.	T37	12	42 orif./compart.
T18	12	114 orif./compart.	T38	12	41 orif./compart.
T19	12	95 orif./compart.	T39	12	45 orif./compart.
T20	12	72 orif./compart.	T40	12	52 orif./compart.

Relação de orifícios

Notas:

- As dimensões das trincheiras devem obedecer as especificações informadas em planta baixa;
- As trincheiras devem ser revestidas com manta geotêxtil;
- As divisórias de cada compartimento deve ser executada com uma geomembrana revestida por uma manta geotêxtil em ambas as faces;
- A perfuração dos orifícios devem ser realizadas na tubulação localizada no fundo das trincheiras;
- Os orifícios devem se localizar na região mais inferior do compartimento.

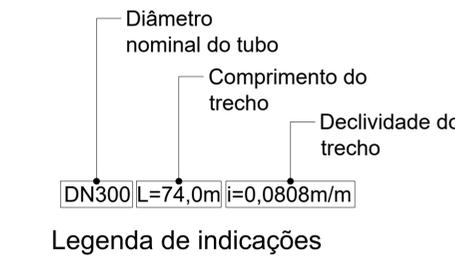
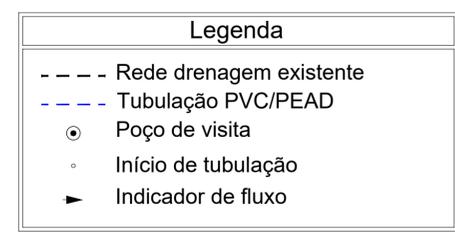
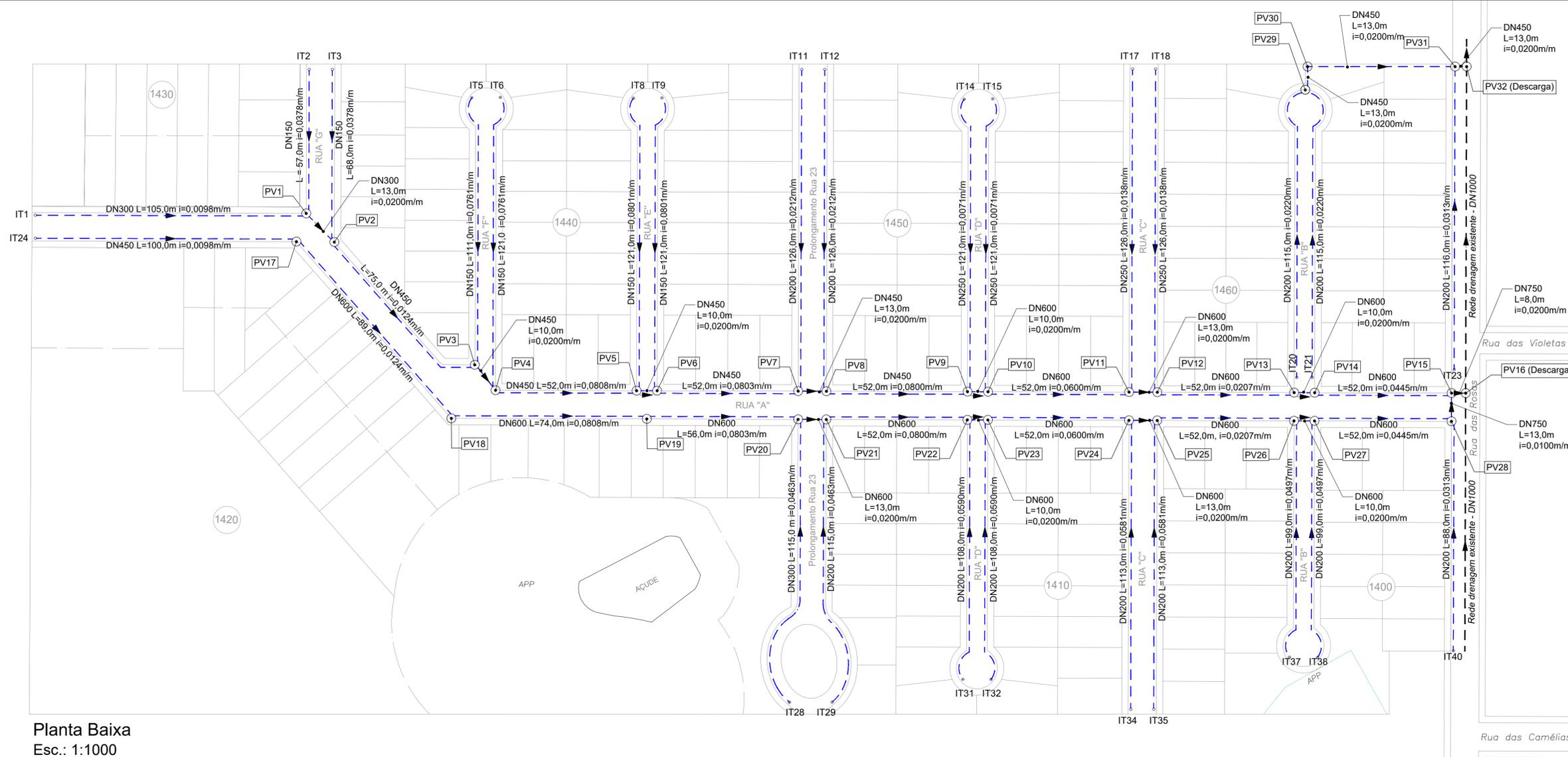
UCS CURSOS DE ENGENHARIA CIVIL
UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

ASSUNTO:
PROJETO DE TRINCHEIRAS DE DETENÇÃO - TR5_CONV

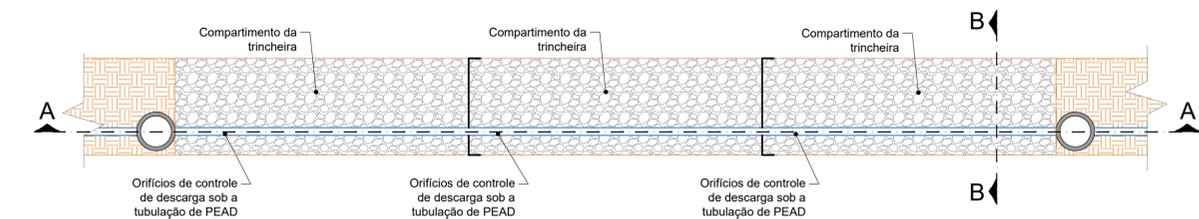
PLANTA BAIXA E DETALHES DA TRINCHEIRA

ACADÊMICO:
GABRIEL ROBERTO SILVESTRI

ORIENTADOR: TIAGO PANIZZON	DATA: NOV/2018	ESCALA: INDICADA	PRANCHA: 07
-------------------------------	-------------------	---------------------	----------------



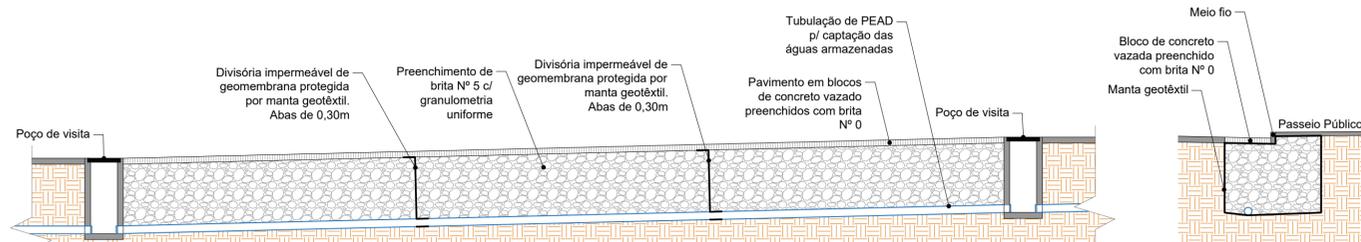
Planta Baixa
Esc.: 1:1000



Planta Baixa Genérica - Trincheiras
Esc.: 1:100

Notas:

- Os diâmetros das tubulações devem obedecer as informações especificadas em projeto;
- Devem executadas as perfurações dos orifícios nas tubulações de cada compartimento conforme especificado no projeto de TRINCHEIRAS DE DETENÇÃO;
- O material dos tubos são de PEAD, exceto tubos DN150 e DN200 no qual são de PVC.



Corte AA
Esc.: 1:100

Corte BB
Esc.: 1:100

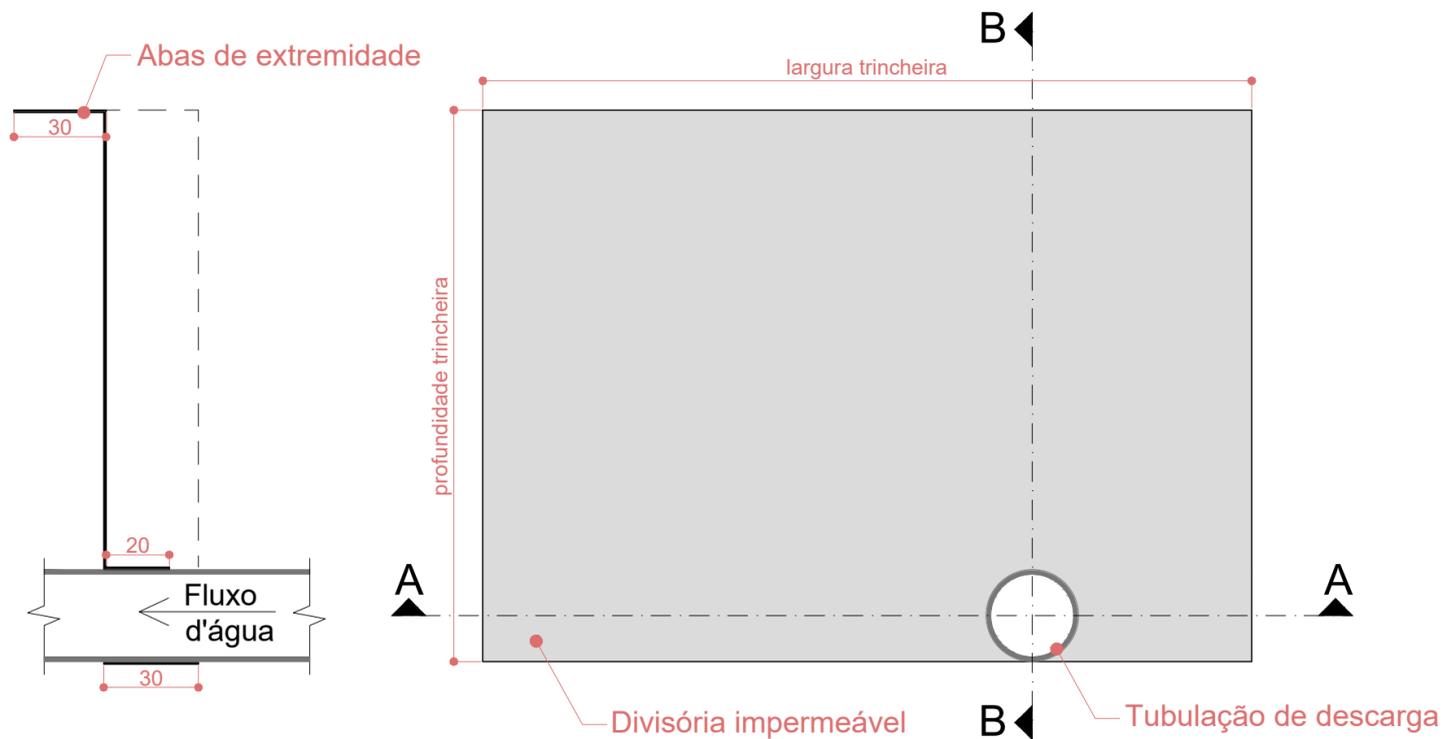
UCS UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

ASSUNTO:
PROJETO DE REDE DE TUBULAÇÕES - TR5_CONV

PLANTA BAIXA E DETALHES DA TRINCHEIRA

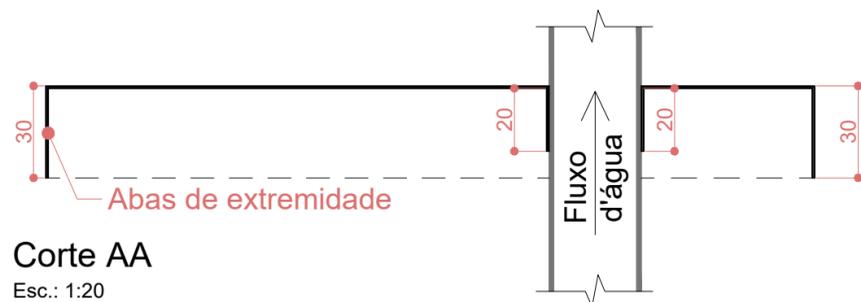
ACADÊMICO:
GABRIEL ROBERTO SILVESTRI

ORIENTADOR: TIAGO PANIZZON	DATA: NOV/2018	ESCALA: INDICADA	PRANCHA: 08
-------------------------------	-------------------	---------------------	----------------

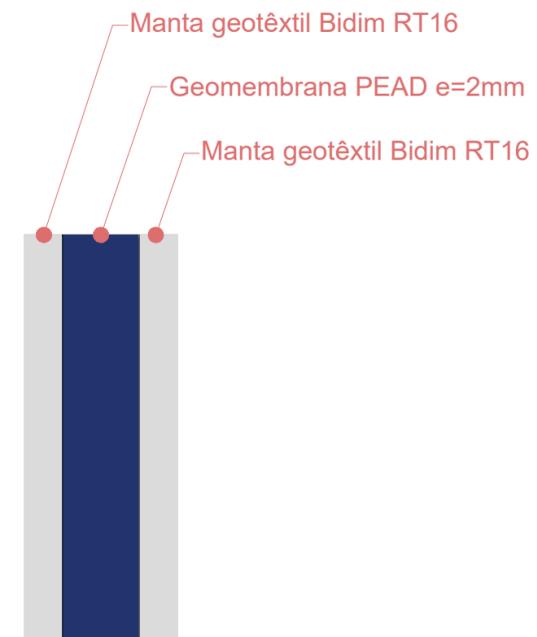


Corte BB
Esc.: 1:20

Vista Frontal
Esc.: 1:20



Corte AA
Esc.: 1:20



Detalhamento das camadas da divisória
S/ esc.

Notas:

- A unidade de medidas deste projeto é centímetros;
- A divisória impermeável deve atender toda a seção transversal da trincheira de detenção;
- As divisórias devem ser executadas com uma geomembrana revestida por uma manta geotêxtil em ambas as faces;
- Para garantir a estanqueidade das divisórias devem ser implantadas abas em suas extremidades e no local onde percorre a tubulação de descarga, conforme o projeto;
- As divisórias serão fixadas através da compressão exercida pelo material de preenchimento da trincheira;
- A divisória deve ser locada conforme estabelecido em projeto.



CURSO DE ENGENHARIA CIVIL
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

ASSUNTO:

DETALHAMENTO DAS DIVISÓRIAS IMPERMEÁVEIS

VISTA FRONTAL, CORTES E DETALHAMENTOS

ACADÊMICO:

GABRIEL ROBERTO SILVESTRI

ORIENTADOR:

TIAGO PANIZZON

DATA:

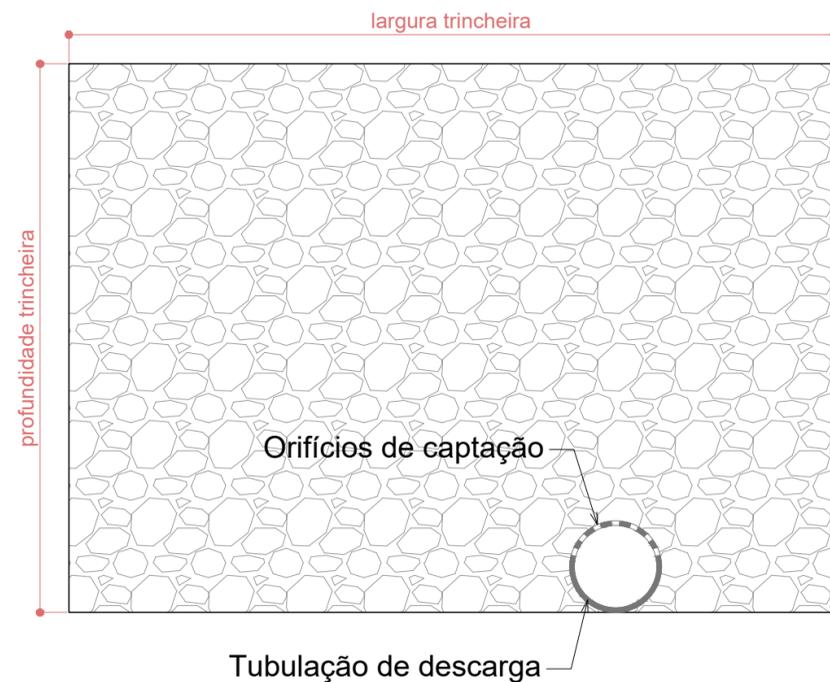
NOV/2018

ESCALA:

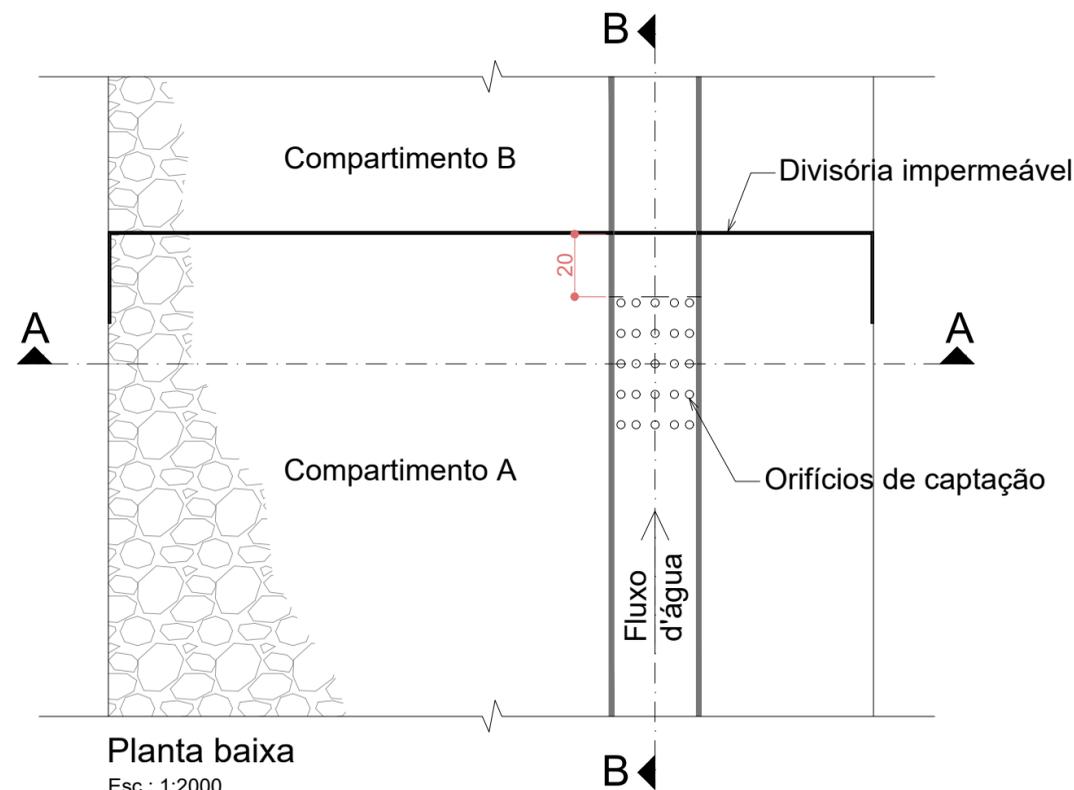
INDICADA

PRANCHA:

09



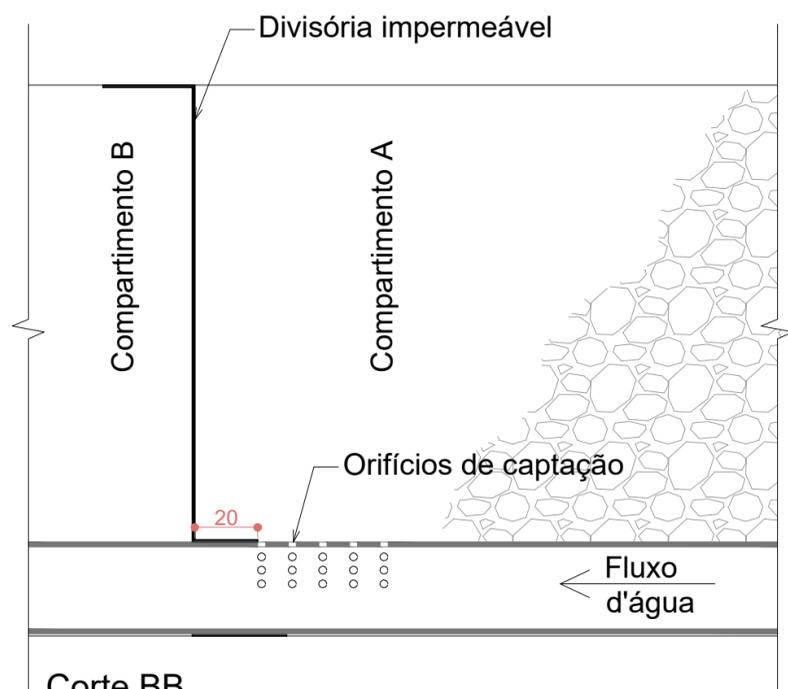
Corte AA
Esc.: 1:2000



Planta baixa
Esc.: 1:2000

Notas:

- A unidade de medidas deste projeto é centímetros;
- Os orifícios devem ser perfurados no encerramento de cada compartimento;
- Deve-se respeitar o espaço ocupado pela aba da geomembrana;
- A quantidade de orifícios deve respeitar o estabelecido na tabela deste projeto;
- Deve-se manter um espaçamento mínimo entre os orifícios de tal forma que a tubulação mantenha a sua integridade estrutural;
- Os orifícios devem estar localizados na metade acima da seção da tubulação.



Corte BB
Esc.: 1:2000

ID	L _{com partim.} (m)	Ø _{orifício} (mm)	N _{orifícios}	ID	L _{com partim.} (m)	Ø _{orifício} (mm)	N _{orifícios}
T1	26,06	10	13	T21	16,21	6	13
T2	11,20	6	9	T22	12,81	6	10
T3	13,40	6	12	T23	16,36	6	15
T4	37,38	6	26	T24	19,80	10	22
T5	7,70	6	6	T25	29,50	10	48
T6	5,26	6	5	T26	7,18	6	8
T7	7,21	6	6	T27	4,08	6	5
T8	4,80	6	4	T28	16,21	10	20
T9	4,80	6	4	T29	10,23	6	8
T10	7,21	6	7	T30	3,77	6	4
T11	20,79	6	17	T31	10,58	6	9
T12	20,79	6	17	T32	7,48	6	6
T13	7,21	6	7	T33	6,28	6	5
T14	17,07	6	13	T34	10,05	6	8
T15	17,07	6	13	T35	7,30	6	6
T16	3,77	6	4	T36	25,88	6	18
T17	31,31	6	25	T37	5,95	6	6
T18	31,31	6	25	T38	8,77	6	8
T19	12,81	6	10	T39	10,20	6	7
T20	16,21	6	13	T40	17,40	6	14

Tabela de orifícios



CURSO DE ENGENHARIA CIVIL
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

ASSUNTO:
DETALHAMENTO DA PERFURAÇÃO DOS ORIFÍCIOS
PROJETO TR5_POA

PLANTA BAIXA, CORTES E DETALHAMENTOS

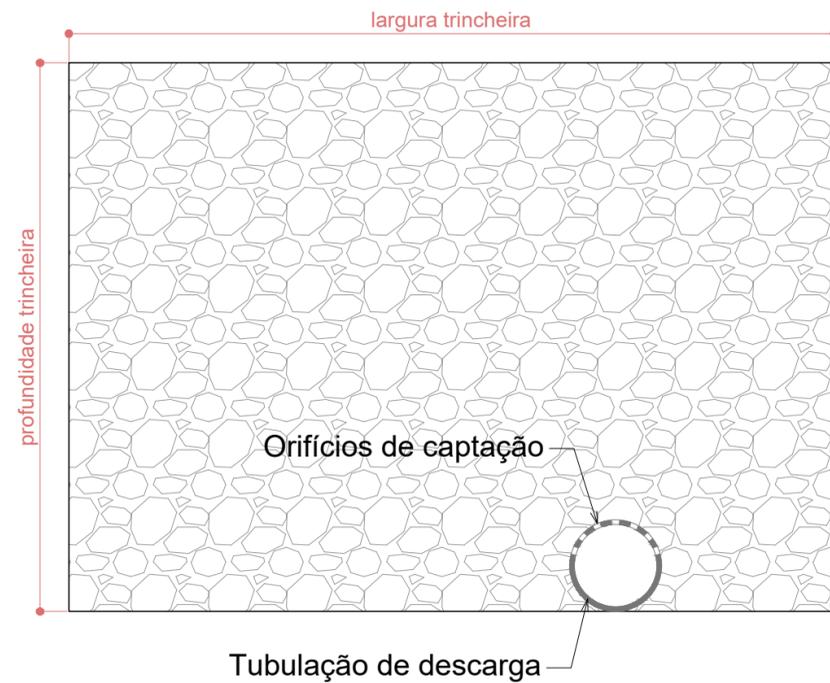
ACADÊMICO:
GABRIEL ROBERTO SILVESTRI

ORIENTADOR:
TIAGO PANIZZON

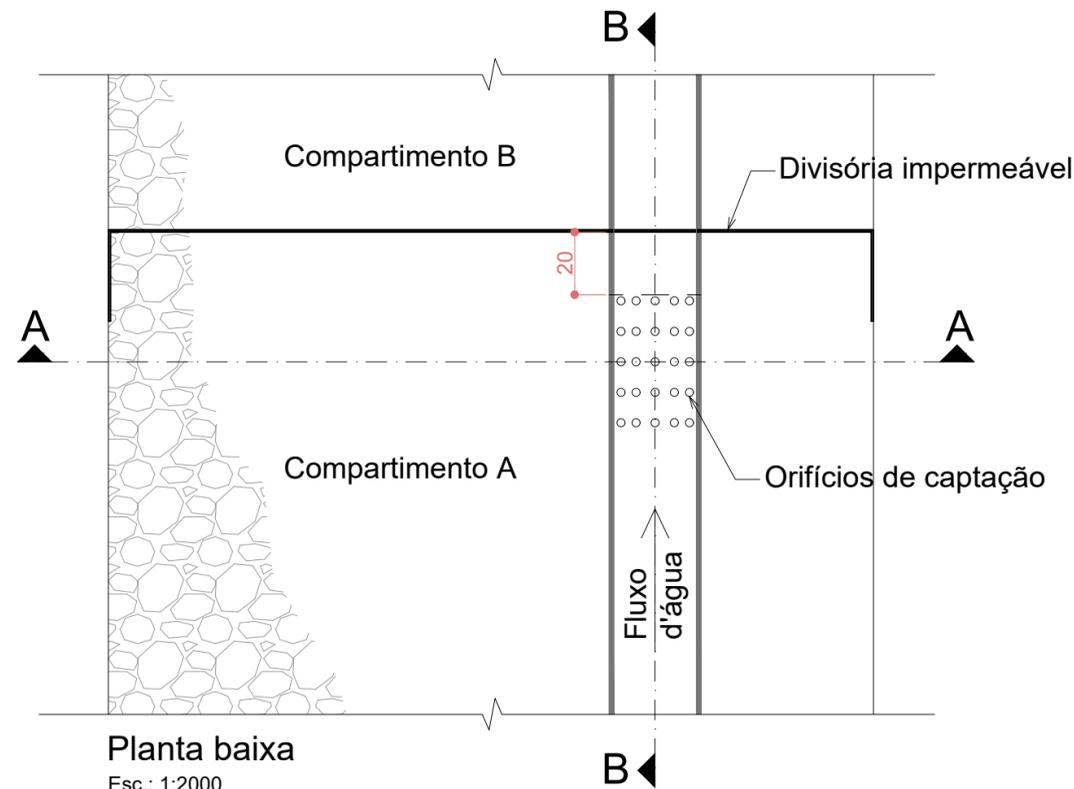
DATA:
NOV/2018

ESCALA:
INDICADA

PRANCHA:
10



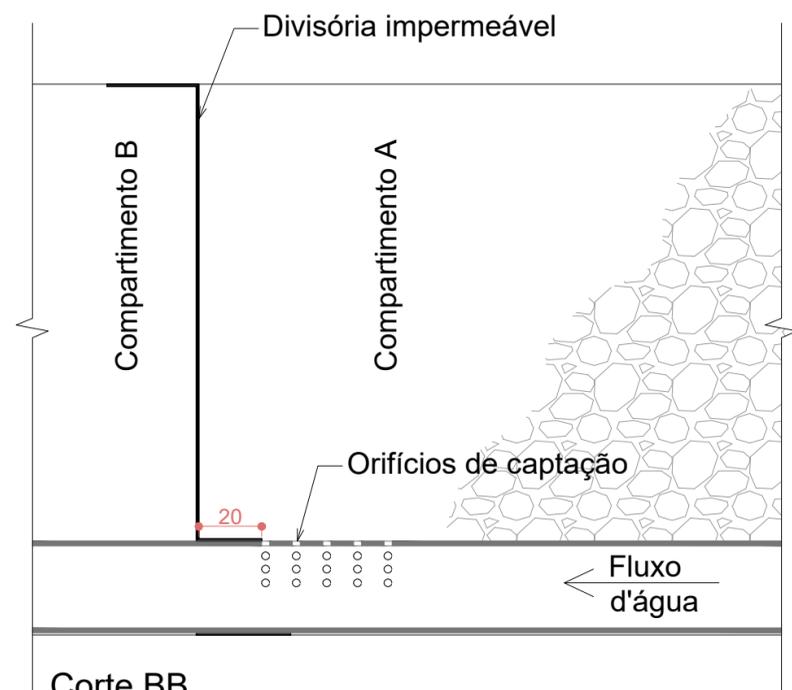
Corte AA
Esc.: 1:2000



Planta baixa
Esc.: 1:2000

Notas:

- A unidade de medidas deste projeto é centímetros;
- Os orifícios devem ser perfurados no encerramento de cada compartimento;
- Deve-se respeitar o espaço ocupado pela aba da geomembrana;
- A quantidade de orifícios deve respeitar o estabelecido na tabela deste projeto;
- Deve-se manter um espaçamento mínimo entre os orifícios de tal forma que a tubulação mantenha a sua integridade estrutural;
- Os orifícios devem estar localizados na metade acima da seção da tubulação.



Corte BB
Esc.: 1:2000

ID	L _{compartim.} (m)	Ø _{orifício} (mm)	N _{orifícios}	ID	L _{compartim.} (m)	Ø _{orifício} (mm)	N _{orifícios}
T1	105,00	12	364	T21	38,17	12	72
T2	28,38	12	55	T22	25,88	12	49
T3	22,50	12	44	T23	28,81	12	58
T4	75,00	12	124	T24	100,00	12	753
T5	15,64	12	30	T25	89,00	12	1005
T6	14,91	12	30	T26	12,13	12	30
T7	10,20	12	19	T27	7,79	12	18
T8	13,22	12	26	T28	115,00	12	842
T9	13,22	12	26	T29	22,80	12	44
T10	12,81	12	26	T30	12,81	12	25
T11	41,83	12	77	T31	17,79	12	36
T12	41,83	12	77	T32	17,79	12	34
T13	12,81	12	26	T33	17,17	12	34
T14	121,00	12	217	T34	18,63	12	35
T15	121,00	12	217	T35	18,63	12	37
T16	17,17	12	34	T36	52,00	12	87
T17	62,88	12	115	T37	19,60	12	42
T18	62,88	12	114	T38	19,60	12	41
T19	52,00	12	95	T39	25,88	12	45
T20	38,17	12	72	T40	29,17	12	52

Tabela de orifícios



CURSO DE ENGENHARIA CIVIL
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

ASSUNTO:
DETALHAMENTO DA PERFURAÇÃO DOS ORIFÍCIOS
PROJETO TR5_CONV

PLANTA BAIXA, CORTES E DETALHAMENTOS

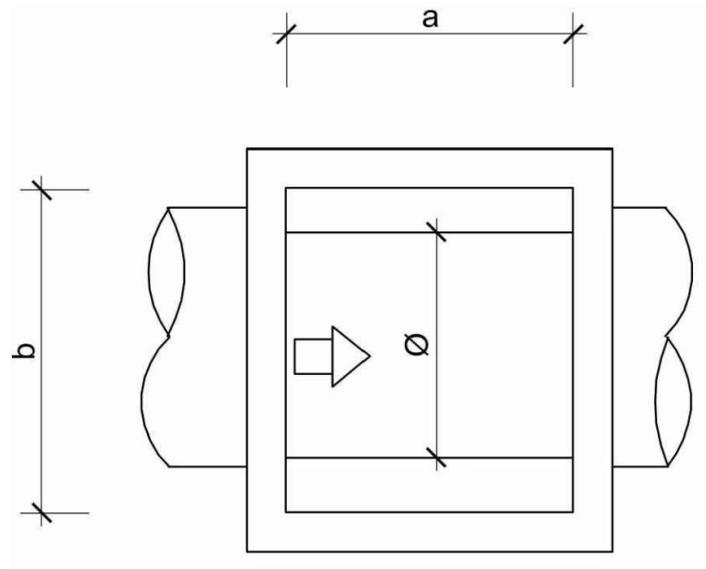
ACADÊMICO:
GABRIEL ROBERTO SILVESTRI

ORIENTADOR:
TIAGO PANIZZON

DATA:
NOV/2018

ESCALA:
INDICADA

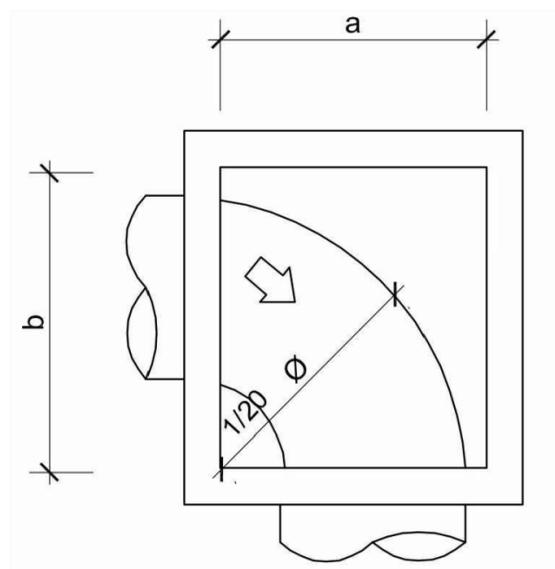
PRANCHA:
11



1º Caso

1º Caso		
Ø (cm)	a (cm)	b (cm)
≤ 30	80	80
40	80	80
50	100	100
60	100	100
80	100	100

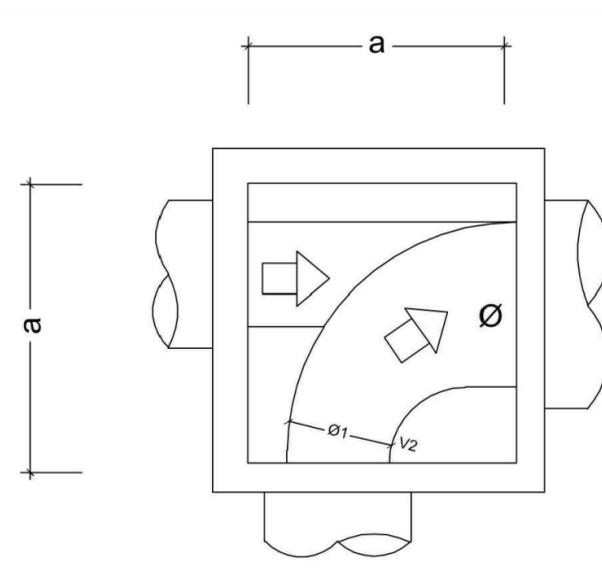
Ø = diâmetro interno da tubulação
a, b = medidas do poço de visita



2º Caso

2º Caso		
Ø (cm)	a (cm)	b (cm)
≤ 30	80	80
40	80	80
50	100	100
60	150	100
80	200	150

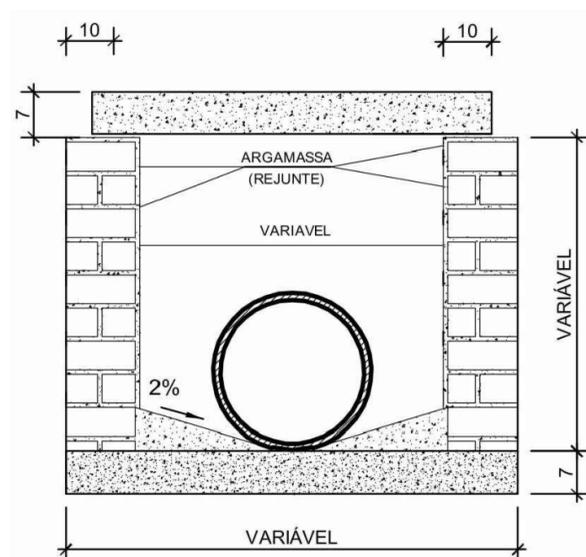
Ø = diâmetro interno da tubulação
a, b = medidas do poço de visita



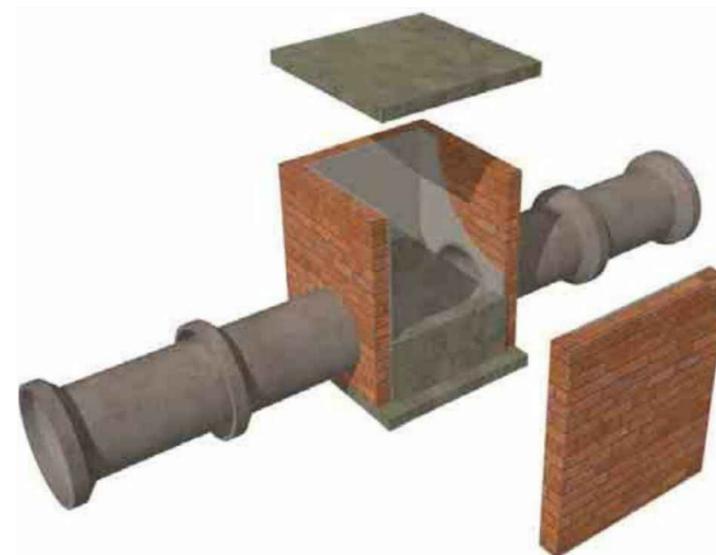
3º Caso

Ø/Ø1	3º Caso				
	≤ 30	40	50	60	80
≤ 30	80	-	-	-	-
40	80	80	-	-	-
50	100	100	100	-	-
60	100	100	100	100	-
80	150	150	150	150	150

Ø, Ø1 = diâmetro interno da tubulação
a = medidas do poço de visita



Poço de visita tipos A e B no passeio
S/ esc.



Vista 3D
S/ esc.

Notas:

- A unidade de medidas deste projeto é centímetros;
- Os poços de visita deste projeto obedecem as diretrizes do Departamento de Esgotos Pluviais do município de Porto Alegre;
- Os poços de visita devem ser dimensionados de acordo com os casos mencionados neste projeto;
- As paredes dos poços de visita devem ser construídas com blocos de concreto;
- A tampa e fundo do poço de visita deve ser de concreto armado;
- Os poços de visita devem localizar-se no passeio público;



CURSO DE ENGENHARIA CIVIL
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

ASSUNTO:
DETALHAMENTO E DIMENSIONAMENTO DOS POÇOS
DE VISITA

PLANTA BAIXA, CORTES E TABELAS

ACADÊMICO:
GABRIEL ROBERTO SILVESTRI

ORIENTADOR:
TIAGO PANIZZON

DATA:
NOV/2018

ESCALA:
INDICADA

PRANCHA:
12

01 - PLANILHA ORÇAMENTÁRIA - PROJETO TR5_POA

ITEM	COD. SINAPI	SERVIÇOS	UNID.	QTD.	CUSTO UNITÁRIO			SERVIÇOS DE TERCEIROS	CUSTO TOTAL	% DE CUSTO DA ETAPA
					MATERIAL	MÃO OBRA	MAT + M.O.			
1		ESCAVAÇÃO DA VALA								
1.1	90093	Escavação mecanizada da vala em solo de 1ª categoria	m3	12 711.60	0.00	4.23	4.23	53 784.11	3.20%	
								53 784.11	3.20%	
2		DRENOS DE FUNDO E TUBOS DE TRAVESSIA								
2.1	90701	Tubo PVC corrugado parede dupla DN150	m	2 767.00	32.70	4.61	37.31	103 243.56	6.13%	
2.2	90702	Tubo PVC corrugado parede dupla DN200	m	371.00	51.02	5.08	56.09	20 810.68	1.24%	
2.3	94869	Tubo PEAD corrugado parede dupla DN250	m	411.00	69.71	0.70	70.40	28 935.71	1.72%	
2.4	94871	Tubo PEAD corrugado parede dupla DN300	m	316.00	102.93	1.21	104.13	32 906.33	1.96%	
2.5	90746	Tubo PEAD corrugado parede dupla DN450	m	21.00	226.21	2.81	229.02	4 809.38	0.29%	
								190 705.66	11.33%	
3		POÇOS VISITÁVEIS (PV)								
3.1	98421	Poço de visita circular em concreto pré-moldado	pc	31.00	1 354.22	189.64	1 543.86	47 859.66	2.84%	
								47 859.66	2.84%	
4		PROTEÇÃO DE FUNDO E LATERAIS								
4.1	83669	Revestimento das laterais e do fundo da trincheira com manta Bidim RT16	m2	20 266.80	6.57	0.42	6.99	141 671.01	8.42%	
								141 671.01	8.42%	
5		PREENCHIMENTO DA TRINCHEIRA								
5.1	6514	Preenchimento da trincheira com brita N° 5	m3	12 619.12	54.90	28.26	83.16	1 049 462.87	62.35%	
								1 049 462.87	62.35%	
6		IMPERMEABILIZAÇÃO DAS DIVISÓRIAS DAS TRINCHEIRAS								
6.1	74033/1	Impermeabilização das divisórias dos compartimentos com geomembrana de e=2mm	m2	2 915.94	37.70	6.23	43.93	128 094.28	7.61%	
6.2	83669	Revestimento das duas faces da geomembrana com manta Bidim RT16	m2	5 831.88	6.57	0.42	6.99	40 766.58	2.42%	
								168 860.86	10.03%	
7		PROTEÇÃO SUPERIOR DA TRINCHEIRA								
7.1	83669	Revestimento superior da trincheira com manta Bidim RT16	m2	4 401.60	6.57	0.42	6.99	30 768.50	1.83%	
								30 768.50	1.83%	
TOTAL								1 683 112.68		

02 - PLANILHA ORÇAMENTÁRIA - PROJETO TR5_CONV

ITEM	COD. SINAPI	SERVIÇOS	UNID.	QTD.	CUSTO UNITÁRIO			SERVIÇOS DE TERCEIROS	CUSTO TOTAL	% DE CUSTO DA ETAPA
					MATERIAL	MÃO OBRA	MAT + M.O.			
1		ESCAVAÇÃO DA VALA								
1.1	90093	Escavação mecanizada da vala em solo de 1ª categoria	m3	5 599.36	0.00	4.23	4.23	23 691.48	1.92%	
								23 691.48	1.92%	
2		DRENOS DE FUNDO E TUBOS DE TRAVESSIA								
2.1	90701	Tubo PVC corrugado parede dupla DN150	m	599.00	32.70	4.61	37.31	22 350.16	1.81%	
2.2	90702	Tubo PVC corrugado parede dupla DN200	m	1 441.00	51.02	5.08	56.09	80 830.70	6.56%	
2.3	94869	Tubo PEAD corrugado parede dupla DN250	m	494.00	69.71	0.70	70.40	34 779.17	2.82%	
2.4	94871	Tubo PEAD corrugado parede dupla DN300	m	233.00	102.93	1.21	104.13	24 263.21	1.97%	
2.5	90746	Tubo PEAD corrugado parede dupla DN450	m	436.00	226.21	2.81	229.02	99 851.94	8.10%	
2.6	90708	Tubo PEAD corrugado parede dupla DN600	m	662.00	399.07	10.97	410.04	271 443.19	22.03%	
2.7	94875	Tubo PEAD corrugado parede dupla DN750	m	21.00	591.89	16.60	608.48	12 778.16	1.04%	
								546 296.53	44.34%	
3		POÇOS VISITÁVEIS (PV)								
3.1	98421	Poço de visita circular em concreto pré-moldado	pc	31.00	1 354.22	189.64	1 543.86	47 859.66	3.88%	
								47 859.66	3.88%	
4		PROTEÇÃO DE FUNDO E LATERAIS								
4.1	83669	Revestimento das laterais e do fundo da trincheira com manta Bidim RT16	m2	13 844.00	6.57	0.42	6.99	96 773.71	7.85%	
								96 773.71	7.85%	
5		PREENCHIMENTO DA TRINCHEIRA								
5.1	6514	Preenchimento da trincheira com brita N° 5	m3	5 333.46	54.90	28.26	83.16	443 554.49	36.00%	
								443 554.49	36.00%	
6		IMPERMEABILIZAÇÃO DAS DIVISÓRIAS DAS TRINCHEIRAS								
6.1	74033/1	Impermeabilização das divisórias dos compartimento com geomembrana de e=2mm	m2	745.12	37.70	6.23	43.93	32 732.39	2.66%	
6.2	83669	Revestimento das duas faces da geomembrana com manta Bidim RT16	m2	1 490.24	6.57	0.42	6.99	10 417.23	0.85%	
								43 149.62	3.50%	
7		PROTEÇÃO SUPERIOR DA TRINCHEIRA								
7.1	83669	Revestimento superior da trincheira com manta Bidim RT16	m2	4 401.60	6.57	0.42	6.99	30 768.50	2.50%	
								30 768.50	2.50%	
TOTAL								1 232 093.99		

03 - PLANILHA ORÇAMENTÁRIA - SISTEMA CONVENCIONAL DE DRENAGEM

ITEM	COD. SINAPI	SERVIÇOS	UNID.	QTD.	CUSTO UNITÁRIO			SERVIÇOS DE TERCEIROS	CUSTO TOTAL	% DE CUSTO DA ETAPA
					MATERIAL	MÃO OBRA	MAT + M.O.			
1		ESCAVAÇÃO DE VALAS EM SOLO 1º CAT								
1.1	90093	Escavação mecanizada da vala p/ DN300	m3	333.20	0.00	4.23	4.23	1 409.80	0.26%	
1.2	90093	Escavação mecanizada da vala p/ DN400	m3	882.98	0.00	4.23	4.23	3 735.98	0.69%	
1.3	90093	Escavação mecanizada da vala p/ DN500	m3	395.46	0.00	4.23	4.23	1 673.23	0.31%	
1.4	90093	Escavação mecanizada da vala p/ DN600	m3	260.58	0.00	4.23	4.23	1 102.54	0.20%	
1.5	90093	Escavação mecanizada da vala p/ DN800	m3	367.92	0.00	4.23	4.23	1 556.71	0.29%	
								1 409.80	0.26%	
2		LASTRO DE BRITA								
2.1	94112	Lastro de brita p/ valas do DN300	m3	27.20	65.51	77.59	143.10	3 892.19	0.72%	
2.2	94112	Lastro de brita p/ valas do DN400	m3	74.97	65.51	77.59	143.10	10 727.85	1.99%	
2.3	94112	Lastro de brita p/ valas do DN500	m3	30.42	65.51	77.59	143.10	4 352.96	0.81%	
2.4	94112	Lastro de brita p/ valas do DN600	m3	18.06	65.51	77.59	143.10	2 584.30	0.48%	
2.5	94112	Lastro de brita p/ valas do DN800	m3	22.68	65.51	77.59	143.10	3 245.40	0.60%	
								24 802.70	4.59%	
3		POÇOS VISITÁVEIS (PV)								
3.1	98421	Poço de visita circular em concreto pré-moldado	pc	26.00	1 354.22	189.64	1 543.86	40 140.36	7.43%	
								40 140.36	7.43%	
4		BOCAS DE LOBO								
4.1	83659	Caixas de captação pluvial, tipo boca de lobo	pc	67.00	238.86	437.44	676.30	45 312.03	8.38%	
								45 312.03	8.38%	
5		FORNECIMENTO E ASSENTAMENTO DA TUBULAÇÃO								
5.1	94871	Fornecimento e assentamento tubulação PBPA2 DN300 - Adotou-se PEAD DN300	m	340.00	102.93	1.21	104.13	35 405.54	6.55%	
5.2	90746	Fornecimento e assentamento tubulação PBPA2 DN400 - Adotou-se PEAD DN450	m	833.00	226.21	2.81	229.02	190 772.16	35.30%	
5.3	90746	Fornecimento e assentamento tubulação PBPA2 DN500 - Adotou-se PEAD DN450	m	234.00	226.21	2.81	229.02	53 590.26	9.92%	
5.4	90708	Fornecimento e assentamento tubulação PBPA2 DN600 - Adotou-se PEAD DN600	m	129.00	399.07	10.97	410.04	52 894.52	9.79%	
5.5	94875	Fornecimento e assentamento tubulação PBPA2 DN800 - Adotou-se PEAD DN750	m	126.00	591.89	16.60	608.48	76 668.95	14.19%	
								409 331.43	75.74%	
6		REATERRO E COMPACTAÇÃO DAS VALAS								
6.1	93361	Reaterro e compactação das valas da tubulação DN300	m3	244.80	0.00	11.86	11.86	2 903.85	0.54%	
6.2	93361	Reaterro e compactação das valas da tubulação DN400	m3	649.74	0.00	11.86	11.86	7 707.31	1.43%	
6.3	93361	Reaterro e compactação das valas da tubulação DN500	m3	299.52	0.00	11.86	11.86	3 552.95	0.66%	
6.4	93361	Reaterro e compactação das valas da tubulação DN600	m3	189.63	0.00	11.86	11.86	2 249.42	0.42%	
6.5	93361	Reaterro e compactação das valas da tubulação DN800	m3	254.52	0.00	11.86	11.86	3 019.15	0.56%	
								19 432.69	3.60%	
TOTAL								540 429.01		

Tabela 04 - Projeto TR5_POA - Verificação da permeabilidade d'água em blocos vazados preenchidos com brita N° 0

ID	Vazão incidente					Taxa de infiltração				Vazão de infiltração						Dif (%)
	A,contrib (m2)	A,cont,compart (m2)	C	i (mm/h)	Q,t (L/s)	ko (m/s)	h (m)	z (m)	q (m/s)	L,trinch,total (m)	N compartimentos	L,trinch (m)	l,trinch (m)	A,inf (m2)	Q,inf (L/s)	
T1	5468.10	1367.03	0.60	136.36	31.01	0.050	0.10	0.20	2.50E-02	105.0	4	26.06	1.20	18.03	450.75	1353.40%
T2	1624.20	324.84	0.82	136.36	10.15	0.050	0.10	0.20	2.50E-02	57.0	5	11.20	1.20	7.75	193.70	1809.13%
T3	2085.80	417.16	0.82	136.36	13.03	0.050	0.10	0.20	2.50E-02	68.0	5	13.40	1.20	9.27	231.75	1678.64%
T4	1912.60	956.30	0.82	136.36	29.87	0.050	0.10	0.20	2.50E-02	75.0	2	37.38	1.20	25.86	646.40	2064.08%
T5	2975.60	212.54	0.82	136.36	6.64	0.050	0.10	0.20	2.50E-02	111.0	14	7.70	1.20	5.32	133.11	1905.07%
T6	3419.10	155.41	0.82	136.36	4.85	0.050	0.10	0.20	2.50E-02	121.0	22	5.26	1.20	3.64	91.00	1774.55%
T7	1515.60	216.51	0.82	136.36	6.76	0.050	0.10	0.20	2.50E-02	52.0	7	7.21	1.20	4.99	124.77	1744.99%
T8	3422.20	142.59	0.82	136.36	4.45	0.050	0.10	0.20	2.50E-02	121.0	24	4.80	1.20	3.32	83.05	1764.76%
T9	3419.10	142.46	0.82	136.36	4.45	0.050	0.10	0.20	2.50E-02	121.0	24	4.80	1.20	3.32	83.05	1766.45%
T10	1528.50	218.36	0.82	136.36	6.82	0.050	0.10	0.20	2.50E-02	52.0	7	7.21	1.20	4.99	124.77	1729.42%
T11	3615.40	602.57	0.82	136.36	18.82	0.050	0.10	0.20	2.50E-02	126.0	6	20.79	1.20	14.38	359.59	1810.61%
T12	3618.70	603.12	0.82	136.36	18.84	0.050	0.10	0.20	2.50E-02	126.0	6	20.79	1.20	14.38	359.59	1808.86%
T13	1528.40	218.34	0.82	136.36	6.82	0.050	0.10	0.20	2.50E-02	52.0	7	7.21	1.20	4.99	124.77	1729.54%
T14	3433.55	490.51	0.82	136.36	15.32	0.050	0.10	0.20	2.50E-02	121.0	7	17.07	1.20	11.81	295.25	1827.13%
T15	3437.76	491.11	0.82	136.36	15.34	0.050	0.10	0.20	2.50E-02	121.0	7	17.07	1.20	11.81	295.25	1824.77%
T16	1528.67	117.59	0.82	136.36	3.67	0.050	0.10	0.20	2.50E-02	52.0	13	3.77	1.20	2.61	65.19	1674.88%
T17	3627.56	906.89	0.82	136.36	28.33	0.050	0.10	0.20	2.50E-02	126.0	4	31.31	1.20	21.66	541.55	1811.83%
T18	3584.06	896.02	0.82	136.36	27.99	0.050	0.10	0.20	2.50E-02	126.0	4	31.31	1.20	21.66	541.55	1835.04%
T19	1403.26	350.82	0.82	136.36	10.96	0.050	0.10	0.20	2.50E-02	52.0	4	12.81	1.20	8.86	221.59	1922.29%
T20	3399.39	485.63	0.82	136.36	15.17	0.050	0.10	0.20	2.50E-02	115.0	7	16.21	1.20	11.22	280.43	1748.77%
T21	3402.15	486.02	0.82	136.36	15.18	0.050	0.10	0.20	2.50E-02	115.0	7	16.21	1.20	11.22	280.43	1747.27%
T22	1403.10	350.78	0.82	136.36	10.96	0.050	0.10	0.20	2.50E-02	52.0	4	12.81	1.20	8.86	221.59	1922.52%
T23	3593.24	513.32	0.82	136.36	16.03	0.050	0.10	0.20	2.50E-02	116.0	7	16.36	1.20	11.32	282.90	1664.44%
T24	11504.06	2300.81	0.36	136.36	30.98	0.050	0.10	0.20	2.50E-02	100.0	5	19.80	1.20	13.70	342.44	1005.49%
T25	14772.05	4924.02	0.25	136.36	46.91	0.050	0.10	0.20	2.50E-02	89.0	3	29.50	1.20	20.41	510.20	987.68%
T26	2739.89	273.99	0.75	136.36	7.83	0.050	0.10	0.20	2.50E-02	74.0	10	7.18	1.20	4.96	124.09	1484.20%
T27	2105.03	161.93	0.82	136.36	5.06	0.050	0.10	0.20	2.50E-02	56.0	13	4.08	1.20	2.82	70.51	1294.13%
T28	13570.82	1938.69	0.25	136.36	18.47	0.050	0.10	0.20	2.50E-02	115.0	7	16.21	1.20	11.22	280.43	1418.41%
T29	3217.02	292.46	0.82	136.36	9.13	0.050	0.10	0.20	2.50E-02	115.0	11	10.23	1.20	7.08	176.88	1836.36%
T30	1490.92	114.69	0.82	136.36	3.58	0.050	0.10	0.20	2.50E-02	52.0	13	3.77	1.20	2.61	65.19	1719.82%
T31	3217.02	321.70	0.82	136.36	10.05	0.050	0.10	0.20	2.50E-02	108.0	10	10.58	1.20	7.32	182.89	1720.18%
T32	3044.83	217.49	0.82	136.36	6.79	0.050	0.10	0.20	2.50E-02	108.0	14	7.48	1.20	5.18	129.40	1804.93%
T33	1491.17	186.40	0.82	136.36	5.82	0.050	0.10	0.20	2.50E-02	52.0	8	6.28	1.20	4.35	108.63	1765.93%
T34	3044.83	276.80	0.82	136.36	8.65	0.050	0.10	0.20	2.50E-02	113.0	11	10.05	1.20	6.95	173.74	1909.49%
T35	3212.72	214.18	0.82	136.36	6.69	0.050	0.10	0.20	2.50E-02	113.0	15	7.30	1.20	5.05	126.25	1787.24%
T36	1279.12	639.56	0.82	136.36	19.98	0.050	0.10	0.20	2.50E-02	52.0	2	25.88	1.20	17.90	447.51	2140.20%
T37	3212.72	200.80	0.82	136.36	6.27	0.050	0.10	0.20	2.50E-02	99.0	16	5.95	1.20	4.12	102.96	1541.64%
T38	3099.35	281.76	0.82	136.36	8.80	0.050	0.10	0.20	2.50E-02	99.0	11	8.77	1.20	6.07	151.72	1624.03%
T39	1292.14	258.43	0.82	136.36	8.07	0.050	0.10	0.20	2.50E-02	52.0	5	10.20	1.20	7.06	176.41	2085.48%
T40	2402.98	480.60	0.82	136.36	15.01	0.050	0.10	0.20	2.50E-02	88.0	5	17.40	1.20	12.04	300.93	1904.73%

Tabela 05 - Projeto TR5_CONV - Verificação da permeabilidade d'água em blocos vazados preenchidos com brita Nº 0

ID	Vazão incidente					Taxa de infiltração				Vazão de infiltração						Dif (%)
	A,contrib (m2)	A,cont,compart (m2)	C	i (mm/h)	Q,t (L/s)	ko (m/s)	h (m)	z (m)	q (m/s)	L,trinch,total (m)	N compartimentos	L,trinch (m)	l,trinch (m)	A,inf (m2)	Q,inf (L/s)	
T1	5468.10	5468.10	0.60	136.36	124.05	0.050	0.10	0.20	2.50E-02	105.0	1	105.00	1.20	72.64	1815.98	1363.86%
T2	1624.20	812.10	0.82	136.36	25.37	0.050	0.10	0.20	2.50E-02	57.0	2	28.38	1.20	19.63	490.75	1834.70%
T3	2085.80	695.27	0.82	136.36	21.72	0.050	0.10	0.20	2.50E-02	68.0	3	22.50	1.20	15.57	389.14	1691.92%
T4	1912.60	1912.60	0.82	136.36	59.74	0.050	0.10	0.20	2.50E-02	75.0	1	75.00	1.20	51.89	1297.13	2071.32%
T5	2975.60	425.09	0.82	136.36	13.28	0.050	0.10	0.20	2.50E-02	111.0	7	15.64	1.20	10.82	270.54	1937.64%
T6	3419.10	427.39	0.82	136.36	13.35	0.050	0.10	0.20	2.50E-02	121.0	8	14.91	1.20	10.31	257.80	1831.23%
T7	1515.60	303.12	0.82	136.36	9.47	0.050	0.10	0.20	2.50E-02	52.0	5	10.20	1.20	7.06	176.41	1763.26%
T8	3422.20	380.24	0.82	136.36	11.88	0.050	0.10	0.20	2.50E-02	121.0	9	13.22	1.20	9.15	228.68	1825.43%
T9	3419.10	379.90	0.82	136.36	11.87	0.050	0.10	0.20	2.50E-02	121.0	9	13.22	1.20	9.15	228.68	1827.18%
T10	1528.50	382.13	0.82	136.36	11.94	0.050	0.10	0.20	2.50E-02	52.0	4	12.81	1.20	8.86	221.59	1756.59%
T11	3615.40	1205.13	0.82	136.36	37.64	0.050	0.10	0.20	2.50E-02	126.0	3	41.83	1.20	28.94	723.51	1822.09%
T12	3618.70	1206.23	0.82	136.36	37.68	0.050	0.10	0.20	2.50E-02	126.0	3	41.83	1.20	28.94	723.51	1820.34%
T13	1528.40	382.10	0.82	136.36	11.93	0.050	0.10	0.20	2.50E-02	52.0	4	12.81	1.20	8.86	221.59	1756.71%
T14	3433.55	3433.55	0.82	136.36	107.24	0.050	0.10	0.20	2.50E-02	121.0	1	121.00	1.20	83.71	2092.70	1851.32%
T15	3437.76	3437.76	0.82	136.36	107.38	0.050	0.10	0.20	2.50E-02	121.0	1	121.00	1.20	83.71	2092.70	1848.93%
T16	1528.67	509.56	0.82	136.36	15.92	0.050	0.10	0.20	2.50E-02	52.0	3	17.17	1.20	11.88	296.90	1765.44%
T17	3627.56	1813.78	0.82	136.36	56.65	0.050	0.10	0.20	2.50E-02	126.0	2	62.88	1.20	43.50	1087.42	1819.47%
T18	3584.06	1792.03	0.82	136.36	55.97	0.050	0.10	0.20	2.50E-02	126.0	2	62.88	1.20	43.50	1087.42	1842.76%
T19	1403.26	1403.26	0.82	136.36	43.83	0.050	0.10	0.20	2.50E-02	52.0	1	52.00	1.20	35.97	899.34	1951.88%
T20	3399.39	1133.13	0.82	136.36	35.39	0.050	0.10	0.20	2.50E-02	115.0	3	38.17	1.20	26.40	660.09	1765.05%
T21	3402.15	1134.05	0.82	136.36	35.42	0.050	0.10	0.20	2.50E-02	115.0	3	38.17	1.20	26.40	660.09	1763.54%
T22	1403.10	701.55	0.82	136.36	21.91	0.050	0.10	0.20	2.50E-02	52.0	2	25.88	1.20	17.90	447.51	1942.25%
T23	3593.24	898.31	0.82	136.36	28.06	0.050	0.10	0.20	2.50E-02	116.0	4	28.81	1.20	19.93	498.31	1675.99%
T24	11504.06	11504.06	0.36	136.36	154.88	0.050	0.10	0.20	2.50E-02	100.0	1	100.00	1.20	69.18	1729.50	1016.66%
T25	14772.05	14772.05	0.25	136.36	140.72	0.050	0.10	0.20	2.50E-02	89.0	1	89.00	1.20	61.57	1539.26	993.83%
T26	2739.89	456.65	0.75	136.36	13.06	0.050	0.10	0.20	2.50E-02	74.0	6	12.13	1.20	8.39	209.70	1506.28%
T27	2105.03	300.72	0.82	136.36	9.39	0.050	0.10	0.20	2.50E-02	56.0	7	7.79	1.20	5.39	134.65	1333.59%
T28	13570.82	13570.82	0.25	136.36	129.28	0.050	0.10	0.20	2.50E-02	115.0	1	115.00	1.20	79.56	1988.93	1438.48%
T29	3217.02	643.40	0.82	136.36	20.10	0.050	0.10	0.20	2.50E-02	115.0	5	22.80	1.20	15.77	394.33	1862.18%
T30	1490.92	372.73	0.82	136.36	11.64	0.050	0.10	0.20	2.50E-02	52.0	4	12.81	1.20	8.86	221.59	1803.38%
T31	3217.02	536.17	0.82	136.36	16.75	0.050	0.10	0.20	2.50E-02	108.0	6	17.79	1.20	12.31	307.71	1737.39%
T32	3044.83	507.47	0.82	136.36	15.85	0.050	0.10	0.20	2.50E-02	108.0	6	17.79	1.20	12.31	307.71	1841.30%
T33	1491.17	497.06	0.82	136.36	15.53	0.050	0.10	0.20	2.50E-02	52.0	3	17.17	1.20	11.88	296.90	1812.35%
T34	3044.83	507.47	0.82	136.36	15.85	0.050	0.10	0.20	2.50E-02	113.0	6	18.63	1.20	12.88	322.12	1932.22%
T35	3212.72	535.45	0.82	136.36	16.72	0.050	0.10	0.20	2.50E-02	113.0	6	18.63	1.20	12.88	322.12	1826.02%
T36	1279.12	1279.12	0.82	136.36	39.95	0.050	0.10	0.20	2.50E-02	52.0	1	52.00	1.20	35.97	899.34	2151.02%
T37	3212.72	642.54	0.82	136.36	20.07	0.050	0.10	0.20	2.50E-02	99.0	5	19.60	1.20	13.56	338.98	1589.04%
T38	3099.35	619.87	0.82	136.36	19.36	0.050	0.10	0.20	2.50E-02	99.0	5	19.60	1.20	13.56	338.98	1650.82%
T39	1292.14	646.07	0.82	136.36	20.18	0.050	0.10	0.20	2.50E-02	52.0	2	25.88	1.20	17.90	447.51	2117.62%
T40	2402.98	800.99	0.82	136.36	25.02	0.050	0.10	0.20	2.50E-02	88.0	3	29.17	1.20	20.18	504.44	1916.25%

9 ANEXOS

Anexo 01 – Tabela de dimensionamento do sistema convencional de drenagem

ANEXO 01 - DIMENSIONAMENTO REDE DE DRENAGEM PLUVIAL CONVENCIONAL

DIMENSIONAMENTO REDE DE DRENAGEM PLUVIAL																							
Trecho		L (m)	Áreas (ha)		Tc (min)	Itc (mm/h)	Vazão (L/s)	Incl. rua (%)	Incl. rede (%)	D,calc (m)	D,adot (m)	FH	RH/D	RH	y/D	V (m/s)	te (min)	Cota Rua (m)		Cota Greide (m)		Prof. Ger. Sup. (m)	
M	J		Trecho	Acum.														M	J	M	J	M	J
Pv1	Pv2	55.0	0.78	0.78	10.00	121.62	158.23	0.91%	0.91%	0.37	0.400	0.2482	0.2933	0.1173	0.67	1.759	0.52	710.50	710.00	709.50	709.00	0.60	0.60
Pv2	Pv4	90.0	0.69	1.47	10.00	121.62	298.21	1.11%	1.11%	0.45	0.500	0.2336	0.2881	0.1441	0.64	2.228	0.67	710.00	709.00	708.90	707.90	0.60	0.60
Pv3	Pv4	70.0	0.48	0.48	10.00	121.62	97.37	10.00%	10.00%	0.20	0.400	0.0461	0.1516	0.0606	0.25	3.755	0.31	716.00	709.00	715.00	708.00	0.60	0.60
Pv4	Pv6	76.0	0.85	2.80	10.00	121.62	568.01	5.26%	5.26%	0.43	0.500	0.2044	0.2776	0.1388	0.59	4.731	0.27	709.00	705.00	707.90	703.90	0.60	0.60
Pv5	Pv6	73.0	0.42	0.42	10.00	121.62	85.20	8.22%	8.22%	0.19	0.400	0.0445	0.1516	0.0606	0.25	3.404	0.36	711.00	705.00	710.00	704.00	0.60	0.60
Pv6	Pv11	60.0	0.00	3.22	10.00	121.62	653.22	7.50%	7.50%	0.42	0.500	0.1969	0.2728	0.1364	0.57	5.582	0.18	705.00	700.50	703.90	699.40	0.60	0.60
Pv9	Pv11	53.0	0.38	0.38	10.00	121.62	77.09	3.77%	3.77%	0.21	0.400	0.0594	0.1709	0.0684	0.29	2.498	0.35	702.50	700.50	701.50	699.50	0.60	0.60
Pv10	Pv11	71.0	0.51	0.51	10.00	121.62	103.46	4.93%	4.93%	0.23	0.400	0.0697	0.1847	0.0739	0.32	3.007	0.39	704.00	700.50	703.00	699.50	0.60	0.60
Pv11	Pv14	64.0	0.56	4.67	10.00	121.62	947.37	3.91%	3.91%	0.55	0.600	0.2433	0.2917	0.1750	0.66	4.757	0.22	700.50	698.00	699.30	696.80	0.60	0.60
Pv12	Pv14	70.0	0.66	0.66	10.00	121.62	133.89	2.57%	2.57%	0.28	0.400	0.1250	0.2331	0.0932	0.44	2.536	0.46	699.80	698.00	698.80	697.00	0.60	0.60
Pv13	Pv14	52.0	0.39	0.39	10.00	121.62	79.12	0.96%	0.96%	0.28	0.400	0.1208	0.2295	0.0918	0.43	1.535	0.56	698.50	698.00	697.50	697.00	0.60	0.60
Pv14	Pv17	65.0	0.62	6.34	10.00	121.62	1286.15	4.92%	4.92%	0.59	0.600	0.2942	0.3036	0.1822	0.77	5.485	0.20	698.00	694.80	696.80	693.60	0.60	0.60
Pv15	Pv17	70.0	0.49	0.49	10.00	121.62	99.40	3.14%	3.14%	0.24	0.400	0.0839	0.1978	0.0791	0.35	2.513	0.46	697.00	694.80	696.00	693.80	0.60	0.60
Pv16	Pv17	52.0	0.66	0.66	10.00	121.62	133.89	4.23%	4.23%	0.26	0.400	0.0974	0.2102	0.0841	0.38	3.037	0.29	697.00	694.80	696.00	693.80	0.60	0.60
Pv17	Pv19	63.0	0.32	7.81	10.00	121.62	1584.35	2.86%	2.86%	0.70	0.800	0.2209	0.2842	0.2274	0.62	4.844	0.22	694.80	693.00	693.40	691.60	0.60	0.60
Pv18	Pv19	51.0	0.55	0.55	10.00	121.62	111.57	6.86%	6.86%	0.22	0.400	0.0637	0.1756	0.0702	0.30	3.431	0.25	696.50	693.00	695.50	692.00	0.60	0.60
Pv19	Pv21	63.0	0.25	8.61	10.00	121.62	1746.64	3.17%	3.17%	0.72	0.800	0.2311	0.2881	0.2305	0.64	5.152	0.20	693.00	691.00	691.60	689.60	0.60	0.60
Pv20	Pv21	55.0	0.25	0.25	10.00	121.62	50.72	8.18%	8.18%	0.16	0.400	0.0265	0.1206	0.0482	0.19	2.916	0.31	695.50	691.00	694.50	690.00	0.60	0.60
Pv22	Pv23	40.0	0.28	0.28	10.00	121.62	56.80	6.25%	6.25%	0.17	0.400	0.0340	0.1364	0.0546	0.22	2.766	0.24	692.50	690.00	691.50	689.00	0.60	0.60
Pv23	Pv25	57.0	0.43	0.71	10.00	121.62	144.03	4.39%	4.39%	0.26	0.400	0.1029	0.2142	0.0857	0.39	3.131	0.30	690.00	687.50	689.00	686.50	0.60	0.60
Pv24	Pv25	64.0	0.41	0.41	10.00	121.62	83.17	2.34%	2.34%	0.24	0.400	0.0813	0.1935	0.0774	0.34	2.139	0.50	689.00	687.50	688.00	686.50	0.60	0.60
Pv25	Pv26	8.0	0.00	1.12	10.00	121.62	227.21	0.00%	0.91%	0.42	0.500	0.1966	0.2728	0.1364	0.57	1.944	0.07	687.50	687.50	686.40	686.33	0.60	0.67

Parâmetros de projeto

Cidade: Flores da Cunha	Intensidade = 121.62 mm/h	y/D,max = 0.75	cob. mín. = 0.60m
C. Runoff = 0.60	tc,inicial = 10 min	V,max = 6.0 m/s	n = 0.013