

# Estudo de permeabilidade dos solos da região meio-oeste catarinense para posterior dimensionamento de sistemas de destinação de esgotos

João Paulo de Freitas<sup>1</sup>

Gislaine Luvizão<sup>2</sup>

## Resumo

A rede coletora e o tratamento de esgoto ainda não é uma realidade em muitos municípios das regiões oeste e meio oeste catarinense, devido aos altos investimentos que esses serviços demandam e pela baixa densidade populacional. Desta forma a população tem como opção o método de tratamento de esgoto de forma individual, onde cada cidadão se responsabiliza pelo próprio efluente gerado. Uma das opções e provavelmente a mais adotada é o conjunto formado por tanque séptico, filtro e sumidouro. O foco deste trabalho baseou-se no levantamento de informações referente a permeabilidade dos solos nos municípios das regiões oeste e meio oeste catarinense. A permeabilidade dos solos para cada região pode apresentar valores diferentes, devido a capacidade de infiltração de cada solo, podendo ser baixa ou alta. Quanto mais baixo for o valor de permeabilidade, indica que o sumidouro precisará uma área de absorção maior. Para obter dados da permeabilidade, foram utilizados os métodos de cava, anéis concêntricos e piezômetro. O ensaio de cava e os anéis concêntricos foram realizados sob a superfície enquanto o piezômetro de forma mais profunda. O maior valor de permeabilidade encontrado pelo método de cava, sendo  $3,65 \cdot 10^{-2}$  cm/s, foi encontrado no município de Joaçaba (interior), enquanto o menor foi encontrado no município de Zortéa, sendo  $1,84 \cdot 10^{-3}$  cm/s. Para o ensaio dos anéis concêntricos, o maior valor encontrados, foi de  $1,25 \cdot 10^{-2}$  cm/s no município de Concórdia e o menor no município de Zortéa, sendo  $5,31 \cdot 10^{-4}$  cm/s. Para o ensaio do piezômetro o maior valor foi de  $1,72 \cdot 10^{-3}$  cm/s, encontrado no município de Concórdia, no bairro Vista Alegre, enquanto o menor foi no município de Vargem Bonita, sendo  $6,19 \cdot 10^{-5}$  cm/s. A caracterização dos solos de acordo com a permeabilidade, levando em consideração todos os métodos, variou entre areias grossas, areias argilosas e siltes. O coeficiente de infiltração que é utilizado para o dimensionamento de sumidouro, obtido através dos valores encontrados no ensaio de cava, teve menor valor no município de Zortéa sendo de 42 L/m<sup>2</sup>.dia e o maior valor foi no município de Joaçaba (interior), tendo valor de 166 L/m<sup>2</sup>.dia. O valor médio do coeficiente de infiltração, englobando todos os municípios foi de 92 L/m<sup>2</sup>.dia. Quanto a área necessária para o dimensionamento de sumidouro para cada município, levando em consideração os mesmos parâmetros, podem chegar a quase quatro (04) vezes de diferença.

Palavras-chave: permeabilidade; sumidouro; destinação de esgoto.

<sup>1</sup> Acadêmico do Curso de Engenharia Civil na Universidade do Oeste de Santa Catarina, campus de Joaçaba; [jp.freitas@unoesc.edu.br](mailto:jp.freitas@unoesc.edu.br)

<sup>2</sup> Mestra; professora na Universidade do Oeste de Santa Catarina; [gislaine.luvizao@unoesc.edu.br](mailto:gislaine.luvizao@unoesc.edu.br)

## 1 INTRODUÇÃO

O saneamento básico vem chamando muito a atenção dos governantes e da sociedade nos últimos anos, tendo em vista que este está ligado diretamente com a saúde pública. Mas ter um sistema de coleta e tratamento de esgoto com cobertura de 100% em algumas regiões ainda está longe de se tornar uma realidade e isso pode estar relacionado com os altos investimentos que esses serviços demandam e também pela baixa densidade populacional.

Maior parte dos municípios do oeste e meio oeste catarinense podem se enquadrar nestas características, uma vez que, de acordo com Simon (2020), 58,7% dos municípios catarinenses não possuem rede coletora de esgoto, fazendo com que cada cidadão se responsabilize pelo seu próprio meio de tratamento de esgoto, de forma individual.

Considerando a sistema de tratamento individual, tanque séptico, filtro anaeróbico e sumidouro, pode-se afirmar que para o dimensionamento do tanque e do filtro, é necessário informações ligadas principalmente ao número de pessoas que compõem a residência. Já para o dimensionamento do sumidouro é necessário obter informações das características do solo onde será executado, especificamente a capacidade de infiltração.

Para obter dados de permeabilidade dos solos neste trabalho foram selecionados dez (10) municípios das regiões oeste e meio oeste catarinense. Os métodos utilizados para levantamento de dados foram: cava, anéis concêntricos e piezômetro.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 SISTEMA INDIVIDUAL DE TRATAMENTO DE ESGOTO

#### 2.1.1 Histórico

Segundo Jordão e Pessôa (2009), o sistema de tratamento individual de esgoto, inicialmente chamado de fossas sépticas, teve como origem na cidade de Veoul na França em 1860, inventado por Jean Louis Mouras, onde construiu um tanque em alvenaria que recebia os esgotos, restos de cozinha e águas pluviais para posteriormente ser encaminhado ao sumidouro. De acordo com os autores ainda, o sistema foi patenteado em 1881 e sendo bem aceito em países europeus, foi adotado pelos EUA em 1883.

Nos EUA o modelo sofreu algumas alterações na qual, Edward S. Philbrick modificou o compartimento que antes era único, em dois (JORDÃO; PESSÔA, 2009).

De acordo com a Norma Brasileira 7229 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1993), o sistema de tratamento individual de esgoto deve ser planejado e de forma justificada, sendo mais utilizado em áreas rurais ou locais desprovidos de rede coletora de esgoto.

O esgoto doméstico, conforme a NBR 7229 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1993), tem como estrutura o tanque séptico, filtro anaeróbico e sumidouro. A tanque séptico assim como o filtro anaeróbico são dimensionados levando em consideração o número de usuários, contribuição de despejo, período de detenção, taxa de acumulação de lodo diferido e contribuição de lodo digerido. O sumidouro por sua vez, no seu dimensionamento precisa basicamente de duas informações, sendo o volume de contribuição diária e o coeficiente de infiltração, que é identificado através de ensaios de permeabilidade.

## 2.2 CARACTERÍSTICAS DOS SOLOS

Os solos são originados através da decomposição das rochas e o processo ocorre devido a ação de agentes físicos e químicos, temperatura e água. Tendo estes processos conjuntamente, leva a formação dos solos que são partículas pequenas, caracterizadas levando em consideração a formação da rocha originária (PINTO, 2006).

De acordo com Pinto (2006) os solos que apresentam menores partículas, como o silte e a argila, são denominados de fração de finos do solo, enquanto a areia e pedregulho são denominado fração grossa ou grosseira do solo.

Conforme Pinto (2006), informações relacionadas a percolação da água nos solos é de grande importância e solução de vários problemas, sendo um deles a quantidade de água que infiltra numa escavação (podendo ser como exemplo, o sumidouro). O escoamento da água entre os poros do solo é chamado de coeficiente de permeabilidade, que de acordo com Antunes (2015), quanto maior for este valor, maior também será a facilidade de a água infiltrar no solo.

A Tabela 1 classifica os tipos de solos, tendo como informação os valores de permeabilidade.

Tabela 1 - Valores típicos do coeficiente de permeabilidade

Tipo de solo	K(cm/s)
Argilas	$< 10^{-7}$
Siltes	$10^{-4}$ a $10^{-7}$
Areias argilosas	$10^{-5}$
Areias finas	$10^{-3}$
Areias médias	$10^{-2}$
Areias grossas	$10^{-1}$

Fonte: adaptada de Pinto (2006).

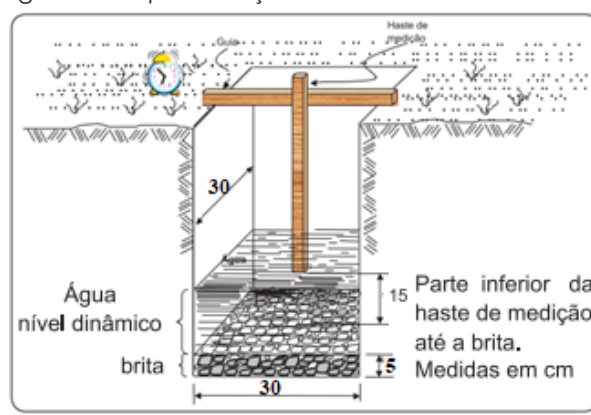
## 2.3 MÉTODOS PARA AFERIR A PERMEABILIDADE

Os métodos utilizados neste trabalho para aferição da permeabilidade foram: cava, anéis concêntricos e piezômetro.

### 2.3.1 Cava

A realização do ensaio de cava (Figura 1) consiste em uma abertura no solo de 30cm x 30cm de área, com profundidade no fundo do campo de absorção ou a profundidade média. Na base da cava deve-se por uma camada de 5 cm de brita, enche-la várias vezes com água de modo a saturar o solo, quanto for necessário, até que o rebaixamento da água se torne lento, marcando o tempo com um cronômetro. Quando chegar no ponto em que esteja bem lento o rebaixamento da água, fazer a marcação do tempo no rebaixamento de 1 cm (FUNASA, 2006).

Figura 1 – Representação ensaio da Cava

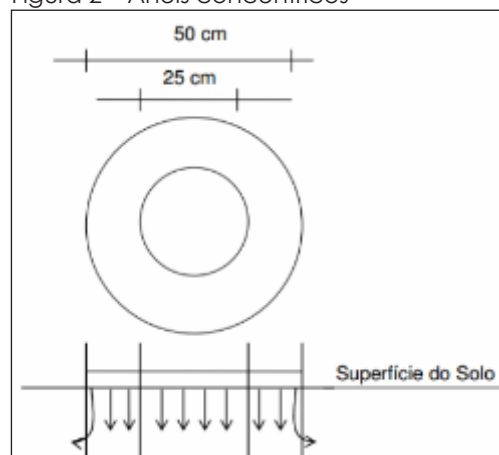


Fonte: FUNASA (2006).

### 2.3.2 Anéis concêntricos

Conforme Paiva (2001 apud ANTUNES, 2015), os anéis concêntricos (Figura 2) são constituídos por dois anéis e um dispositivo para medir a infiltração no anel interno. O anel externo possui diâmetro de 50 cm enquanto o anel interno 25 cm de diâmetro, ambos com altura de 30 cm. Os anéis devem ser cravados cerca de 15 cm no solo.

Figura 2 – Anéis concêntricos



Fonte: Antunes (2015).

A infiltração é medida de acordo com os tempos de 1,2,4,8,16,30,60,90 e 120 minutos, anotando a altura de infiltração em centímetros nos tempos pré-estabelecidos (ANTUNES, 2015). A capacidade de infiltração é calculada pela Equação 01.

$$I = \frac{\Delta h}{\Delta t/60} \quad (01)$$

Onde:

$\Delta h$ : é a variação na lâmina de água em cm;

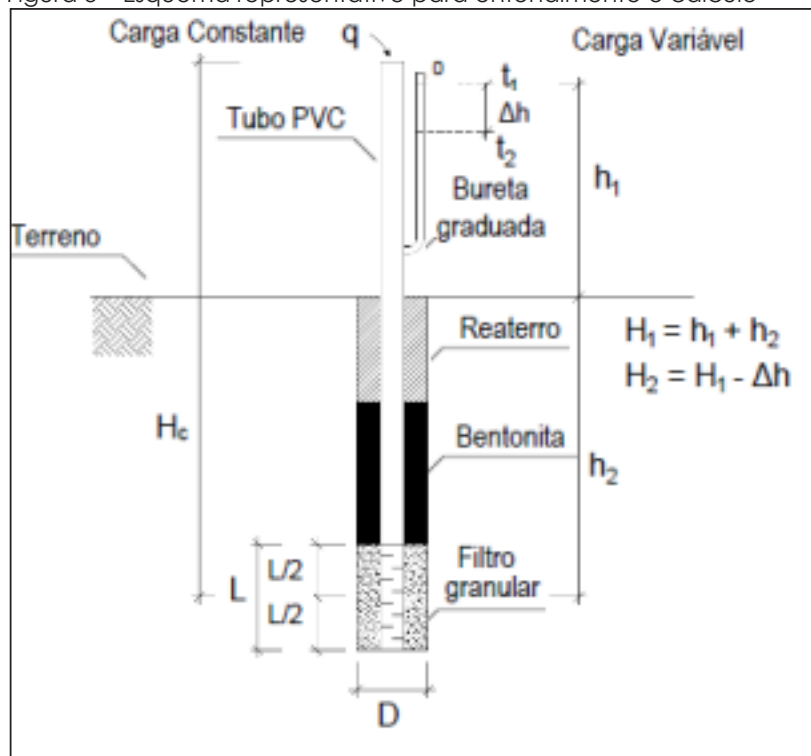
$\Delta t$ : é o intervalo de tempo desta variação em minutos;

$I$ : é a infiltração em cm/h.

### 2.3.3 Piezômetro

De acordo com Pinto (2005), o ensaio com piezômetro do tipo escavado (Figura 3) requer um tubo de PVC com diâmetro de 32 a 40 mm, bentonita (argila) para a execução do selo, areia grossa para a execução do filtro, bureta graduada para medir a variação da infiltração e trado para a execução do furo.

Figura 3 – Esquema representativo para entendimento e cálculo



Fonte: Pinheiro, Nummer e Rauber (2017).

Para o ensaio com carga hidráulica variável, Hvorslev (1951 apud PINTO, 2005), propõe a Equação 02.

$$K = \frac{d^2 \left[ \ln \left( \frac{H_1}{H_2} \right) \right]}{F(t_2 - t_1)} \quad (02)$$

Onde:

K = coeficiente de permeabilidade;

d = diâmetro do tubo;

$H_1$  e  $H_2$  = cargas hidráulicas anotadas nos tempos  $t_1$  e  $t_2$  respectivamente;

F = fator de forma.

O fator de forma pode ser encontrado através da Equação 03.

$$F = \frac{2 m \pi L}{\ln \left[ \frac{m L}{D} + \sqrt{1 + \left( \frac{m L}{D} \right)^2} \right]} \quad (03)$$

Onde:

m = 1, proposto por Hvorslev (1951) apud Pinto (2005) para calcular o fator de forma neste modelo;

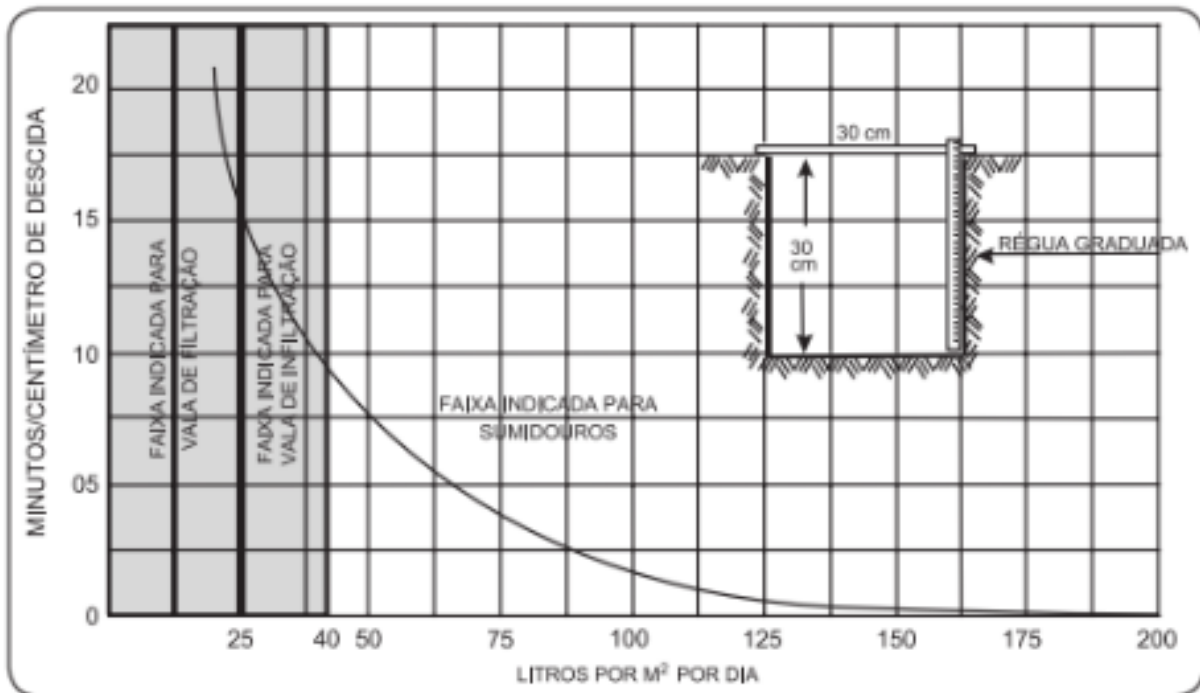
L = comprimento da parte ranhurada na ponta do tubo;

D = diâmetro do furo.

## 2.4 COEFICIENTE DE INFILTRAÇÃO PARA DIMENSIONAMENTO DE SUMIDOURO

“Por definição, o coeficiente de infiltração representa o número de litros que de área de infiltração do solo é capaz de absorver em um dia.” (FUNASA, 2006). O coeficiente de infiltração (Ci) pode ser encontrado utilizando o ábaco da Figura 4.

Figura 4 – Ábaco para determinar coeficiente de percolação



Fonte: FUNASA (2006).

O  $C_i$  também pode ser encontrado através da Equação 04.

$$C_i = \frac{490}{t + 2,5} \tag{04}$$

Onde:

t é o tempo de rebaixamento da água em um (01) cm.

Encontrado o  $C_i$  é possível classificar o tipo de solo e obter a absorção relativa (Quadro 1).

Figura 5 – Absorção relativa do solo

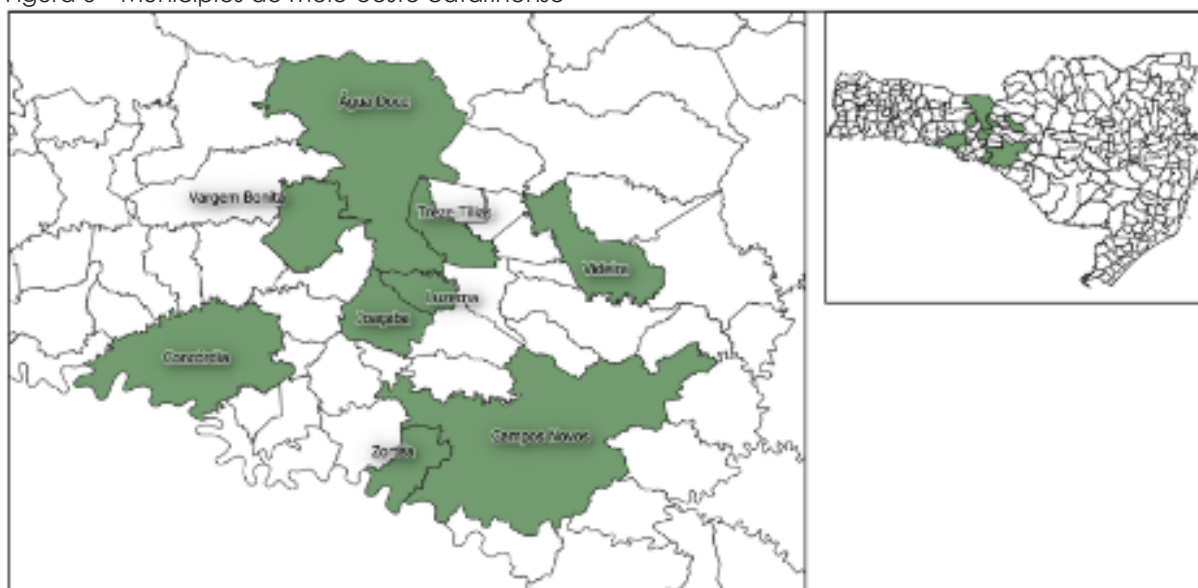
Tipos de solos	Coefficiente de infiltração litros/m <sup>2</sup> xDia	Absorção relativa
Areia bem selecionada e limpa, variando a areia grossa com cascalho	Maior que 90	Rápida
Areia fina ou silte argiloso ou solo arenoso com humos e turfas variando a solos constituídos predominantemente de areia e silte	60 a 90	Média
Argila arenosa e/ou siltosa, variando a areia argilosa ou silte argiloso de cor amarela, vermelha ou marrom	40 a 60	Vagarosa
Argila de cor amarela, vermelha ou marrom mediantemente compacta, variando a argila pouco siltosa e/ou arenosa	20 a 40	Semi-impermeável
Rocha, argila compacta de cor branca, cinza ou preta, variando a rocha alterada e argila mediantemente compacta de cor avermelhada	Menor que 20	Impermeável

Fonte: Associação Brasileira de Normas Técnicas (NBR-7229/93 apud FUNASA, 2006).

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

O levantamento de dados foi realizado nos municípios localizados nas regiões oeste e meio oeste catarinense sendo (Figura 6): Água Doce (ponto urbano e ponto rural), Campos Novos, Concórdia (dois pontos urbanos, sendo ponto 01 e ponto 02), Joaçaba (ponto urbano e ponto rural), Luzerna, Treze Tílias, Vargem Bonita, Videira e Zortéa.

Figura 6 – Municípios do meio-oeste catarinense



Fonte: os autores (2021).

O Quadro 1 apresenta informações de localização, altitude e coordenadas geográficas dos locais onde foram realizados os ensaios.

Quadro 1 – Informações de localidade, altitude e coordenadas geográficas

Município	Localidade	Altitude (m)	Coordenadas geográficas (latitude e longitude)
Concórdia 01	Bairro Vista Alegre	620	27°13'19.74"S; 52° 1'5.65"O
Concórdia 02	Bairro São Cristóvão	805	27°13'25.7"S; 51° 58'14.1"O
Zortéa	Bairro Conceição	699	27°26'51.80"S; 51°33'12.97"O
Vargem Bonita	Bairro Anzolin	868	27° 0'0.51"S; 51°44'31.79"O
Água Doce (urbano)	Bairro Centro	805	27° 0'14.22"S; 51°33'33.39"O
Água Doce (interior)	Comunidade Paiol do Campo	1243	26°53'30.79"S; 51°32'59.58"O
Joaçaba (urbano)	Bairro Flor da Serra	651	27° 9'54.84"S; 51°30'31.06"O
Joaçaba (interior)	Linha Abatti	752	27°10'4.93"S; 51°36'7.96"O
Luzerna	Bairro São Francisco	556	27° 6'52.59"S; 51°27'58.14"O
Treze Tílias	Linha Nova Áustria	839	27° 0'22.89"S; 51°26'51.20"O
Campos Novos	Campus Unoesc	969	27°22'13.15"S; 51°12'18.62"O
Videira	Bairro São Cristóvão	694	27° 0'54.57"S; 51° 8'43.39"O

Fonte: os autores (2021).



### 3.1 CAVA

O ensaio de cava utilizado nesta pesquisa foi o de cava superficial, com dimensões de 30 cm x 30 cm de área e 30 cm de profundidade. A preparação para o ensaio iniciou-se com a remoção do solo superficial, onde na maioria dos casos era vegetação como grama ou similares; concluído a limpeza da parte superficial foi posicionado o gabarito de cava (Fotografia 1 - a) de maneira a tornar a abertura o mais quadrática possível; com a cavadeira e a pá foi retirado o solo formando a cava até a profundidade de 30 cm; concluído a parte da escavação, foram executadas ranhuras nas laterais e ao fundo da cava de modo a facilitar a infiltração da água; na sequência foi posicionado uma régua de 30 cm dentro cava e adicionado uma camada de 5 cm de brita, concluindo as fases de preparação antes de iniciar o ensaio propriamente dito.

Com todas as preparações concluídas, encheu-se a cava com água e manteve-se por cerca de 01 hora ou mais de modo a saturar o solo. Após esse tempo foram feitas leituras com auxílio de um cronômetro, com intervalos de tempo de 5 min até que o solo saturasse. Constatado a saturação do solo tendo um rebaixamento da água idêntico nos intervalos de tempo de 5 min, foi dado início ao ensaio ( Fotografia 1 - b) com o auxílio de uma régua dentro da cava, fazendo 05 leituras no rebaixamento da água do centímetro 15 para o 14.

Fotografia 1 – (a) Abertura da cava e (b) Execução do ensaio



(a)



(b)

Fonte: os autores (2021).

### 3.2 ANÉIS CONCÊNTRICOS

A preparação iniciou-se com o nivelamento e remoção do solo superficial com auxílio de uma enxada; na sequência posicionou-se os anéis na região preparada (Fotografia 2 - a) e com um pedaço de madeira e cavadeira foi feito a cravação dos anéis com profundidade de 15 cm. Para deixar os anéis alinhados foi utilizado um nível de mão e para aferir a profundidade da cravação uma trena.

Concluído a cravação dos anéis no solo, primeiramente foi inserido água no anel externo e aguardado um tempo para que parte da água infiltrasse nesta região. Na maior parte dos ensaios foi aguardado cerca de 15 a 30 minutos aproximadamente para posteriormente fazer a inserção de água no anel interno. Desde o início até a conclusão do ensaio, foi mantido uma lâmina de água com altura de 5 cm aproximadamente no anel externo. Com a inserção de água no anel interno ( Fotografia 2 - b) e observando o comportamento da infiltração, foi-se adicionando água por um período de tempo de modo a saturar o solo, cerca de 15 a 30 minutos também.

Fotografia 2 - (a) Cravação dos anéis e (b) Ensaio dos anéis



(a)



(b)

Fonte: os autores (2021).

Para identificar a saturação do solo, foram feitas leituras com auxílio de uma régua e um cronômetro, com intervalos de tempo de 5 min. Quando os valores do rebaixamento da água ficaram idênticos, foi iniciando o ensaio fazendo a marcação do rebaixamento da água nos tempos de 1, 2, 4, 8, 16, 30, 60, 90 e 120 minutos.

Em alguns pontos com maior permeabilidade, foi necessário adicionar mais água no anel interno para dar continuidade do ensaio. O anel possui 30 cm de altura e tendo sua cravação no solo em 15 cm, restaram no máximo 15 cm de altura disponível para a realização do ensaio, sendo utilizado em torno de 12 cm devido as características do anel. O que ocorreu em uma minoria dos pontos foi que a infiltração ultrapassou este limite de altura e desta forma, estando a infiltração constante, foi dado uma pausa no cronômetro, preenchido o anel com água até a altura máxima possível e dado continuidade ao ensaio. Isso significa que estes pontos podem ter sofrido pequenas variações na carga hidráulica.

Sendo assim é recomendável que este ensaio seja realizado com auxílio de um reservatório externo e que tenha maior capacidade de água de modo que não cause interferências durante o ensaio, uma vez que a capacidade de altura no anel interno, pode ser pequena para determinados tipos de solos.

### 3.3 PIEZÔMETRO

A preparação iniciou com a limpeza superficial do solo com enxada; na sequência foi realizada a abertura do furo com o trado (Fotografia 3 – a); em seguida com uma trena aferiu-se a medida da profundidade, esta que para todos os pontos variou de 42 a 103 cm; com o furo concluído foi adicionado uma camada de pó de pedra de 5 cm aproximadamente para o posicionado o piezômetro dentro do furo (Fotografia 3 – b); na sequência, com o tubo já dentro do furo foi adicionado um filtro de pó de pedra que variou entre 22 a 29 cm em todos os pontos; seguindo a instalação do piezômetro, após concluído o filtro, foi adicionado uma camada de bentonita com altura de 10 a 15 cm aproximadamente, de modo a fazer o selo para que a água não se elevasse pelo furo no momento do ensaio; a bentonita foi colocada em camadas e compactada com auxílio de um bastão feito de tubo de PVC de 1/2"; para melhor desempenho e finalização da instalação do equipamento, após a bentonita foi adicionado mais uma camada de solo e socado com o bastão de modo a garantir o selo.

Na primeira parte do ensaio foi adicionado água no piezômetro para saturar o solo, fazendo leituras no rebaixamento da água na bureta com auxílio de um cronômetro e de acordo com as alturas pré-estabelecidas. A leituras seguiram até ficarem idênticas, constatando assim a saturação do solo. Estando na fase de saturação, foram aferidas doze (12) leituras de modo a fazer uma média e estabelecer o coeficiente de permeabilidade com piezômetro.

Fotografia 3 – (a) Abertura do furo; (b) Piezômetro instalado



(a)



(b)

Fonte: os autores (2021).

## 4 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Neste capítulo será explanado os resultados e comparações entre os métodos, características de cada solo e uma avaliação da capacidade destes solos para execução de sumidouros.

Durante os ensaios encontrou-se dificuldades quanto a disponibilidade e formato dos terrenos. Locais como no município de Concórdia, bairro Vista Alegre por exemplo, o terreno apresentava declividade acentuada e ao fazer o furo no solo para o ensaio do piezômetro, em poucos centímetros, cerca de 40 a 50, já se encontrava solo rochoso. Foi notável que o ensaio do piezômetro neste ponto apresentou uma alta permeabilidade e por este motivo a realização de dois pontos diferentes neste município. O mesmo ocorreu na Comunidade Paiol do Campo, no município de Água Doce, destacando terreno inclinado e solo rochoso próximo a superfície (40 a 50 cm).

### 4.1 CLASSIFICAÇÃO TÁTIL VISUAL DOS SOLOS, ALTITUDE E PERMEABILIDADE

O Quadro 2 apresenta a altitude, classificação tátil visual e os valores de permeabilidade de todos os métodos.

Quadro 2 – Altitude, classificação tátil visual e valores de permeabilidade de todos os métodos

Município	Altitude (m)	Classificação visual do solo	Cava (cm/s)	Anéis (cm/s)	Permeâmetro (cm/s)
Concórdia 01	620	Silte / areia / pedregulho	1,02E-02	1,25E-02	1,72E-03
Concórdia 02	805	Silte / areia	1,09E-02	1,43E-03	8,66E-04
Zortéa	699	Silte / argila	1,84E-03	5,31E-04	9,71E-05
Vargem Bonita	868	Silte	2,33E-03	1,91E-03	6,19E-05
Água Doce (urbano)	805	Silte / areia	3,75E-03	8,19E-04	7,21E-04
Água Doce (interior)	1243	Silte / areia / pedregulho	2,07E-03	4,73E-03	6,33E-04
Joaçaba (urbano)	651	Silte / areia	1,44E-02	4,25E-03	8,77E-04
Joaçaba (interior)	752	Silte / areia / pedregulho	3,65E-02	7,33E-03	9,10E-04
Luzerna	556	Silte / argila	1,53E-02	6,38E-03	4,47E-04
Treze Tílias	839	Silte	2,72E-03	9,09E-04	9,15E-04
Campos Novos	969	Silte	9,67E-03	1,31E-03	7,19E-05
Videira	694	silte/argila	2,11E-03	nulo	2,18E-04

Fonte: os autores (2021).

Nota-se que pontos de menor altitude (terrenos planos) como Luzerna e Zortéa por exemplo, apresentam uma classificação de solos mais finos que os de maiores altitudes como Água doce (interior) e Campos Novos. O município de Concórdia (01) apresentou menor altitude também, mas características de solos mais grosseiros e isso pode ser explicado pelo fato deste local apresentar terreno mais inclinado.

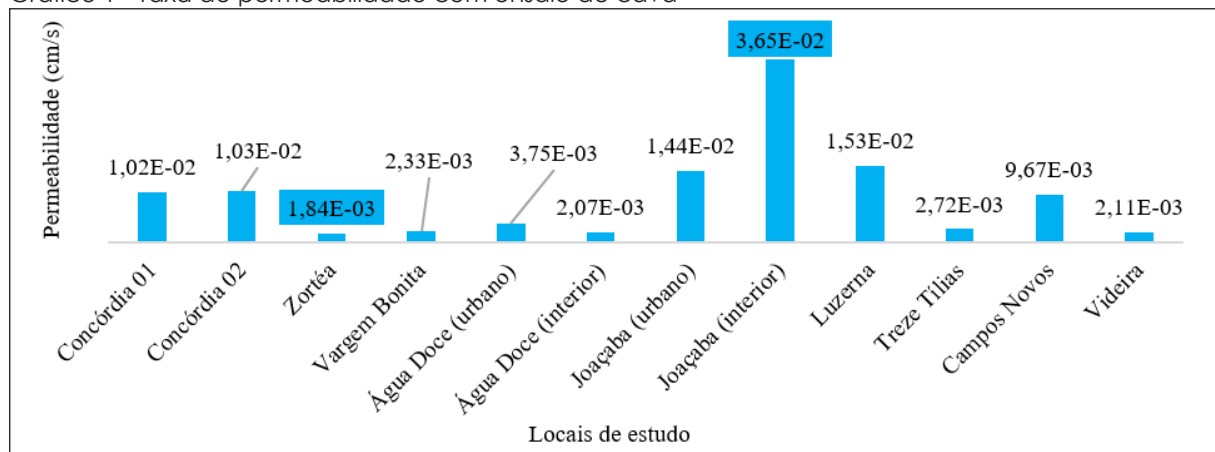
Referente a permeabilidade, os pontos com altitudes mais elevadas, como é o caso de Água Doce (interior) por exemplo, apresentou uma permeabilidade mais alta que Zortéa que está a uma menor altitude.

Um dos fatores que pode ter influenciado a caracterização e a permeabilidade dos solos é a inclinação dos terrenos como ocorreu nos municípios de Concórdia (01), Joaçaba (interior) e Água Doce (interior).

## 4.2 CAVA

O Gráfico 1 apresenta os valores de permeabilidade encontrados em campo, destacando o maior e o menor valor.

Gráfico 1 - Taxa de permeabilidade com ensaio de cava



Fonte: os autores (2021).

A diferença entre os valores, do maior para o menor, chega a quase 2000% (Joaçaba (interior), comparado a Zortéa).

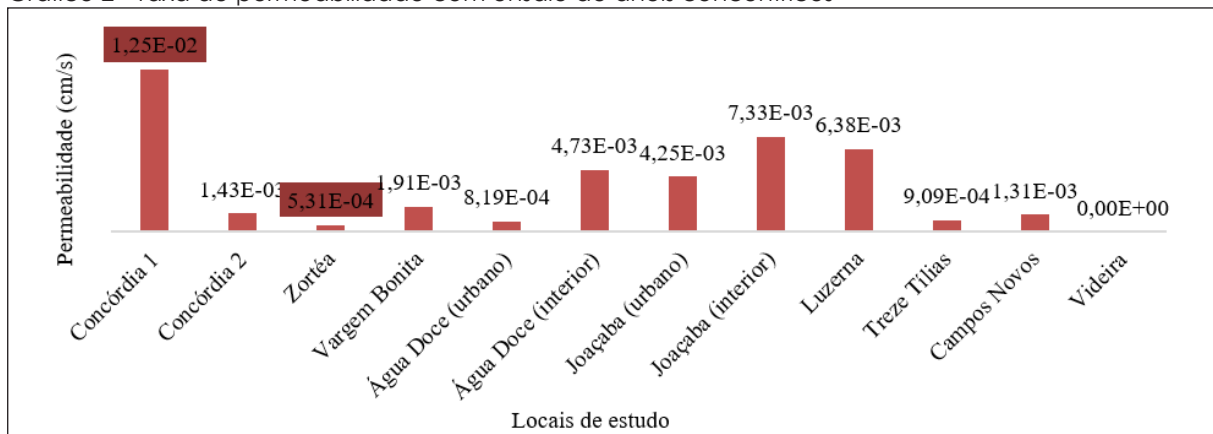
Com base nos valores de permeabilidade, a classificação dos tipos de solos, levando em consideração todos os pontos, ficou na faixa de areias médias e areias finas.

Para este método, Gemelli (2012) em estudos realizados em Lajeado Antinha, no bairro Santa Tereza no município de Joaçaba/SC, encontrou valores na ordem de  $5,15 \cdot 10^{-4}$  cm/s a  $1,56 \cdot 10^{-2}$  cm/s. Estes valores se assemelham com os valores encontrados para Joaçaba (urbano) e Joaçaba (interior) deste trabalho.

## 4.3 ANÉIS CONCÊNTRICOS

O Gráfico 2 apresenta os valores de permeabilidade encontrados em campo, destacando o maior e o menor valor.

Gráfico 2 - Taxa de permeabilidade com ensaio de anéis concêntricos



Fonte: os autores (2021).

A diferença entre os valores, do maior para o menor, chega a quase 2400% (Concórdia (01), comparado a Zortéa).

Com base nos valores de permeabilidade, a classificação dos tipos de solos, levando em consideração todos os pontos, ficou na faixa de areias finas, areias argilosas e siltes.

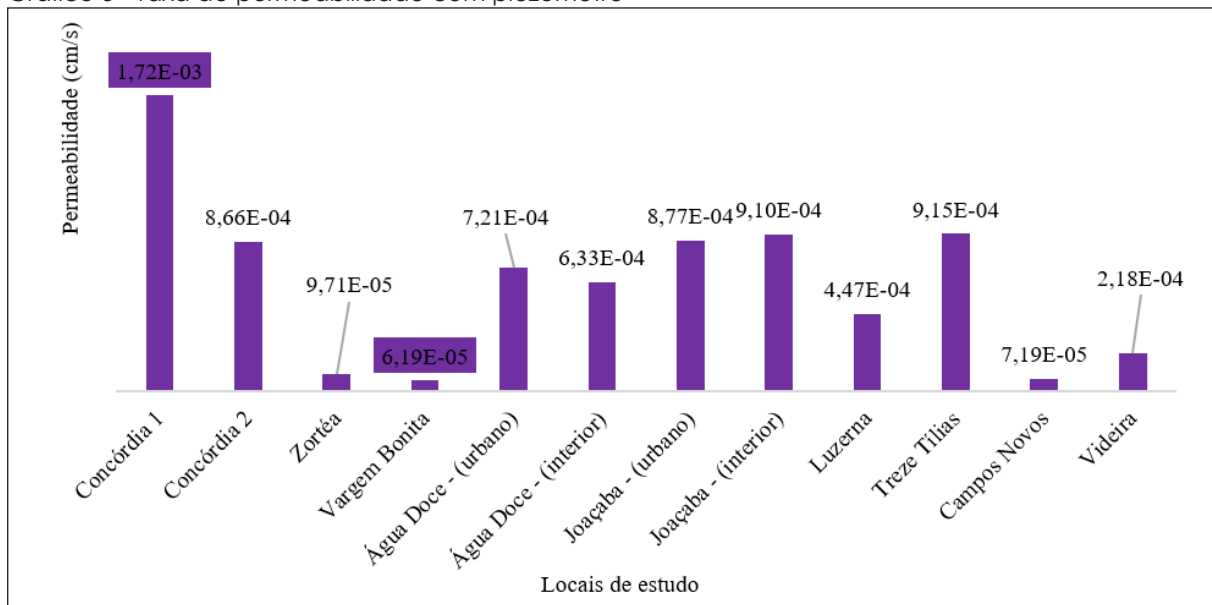
Para este método, Gemelli (2012) em estudos realizados em Lajeado Antinha, no bairro Santa Tereza no município de Joaçaba/SC, encontrou valores da ordem de  $3,33 \cdot 10^{-4}$  cm/s a  $8,06 \cdot 10^{-3}$  cm/s. Estes valores se assemelham com os valores encontrados para Joaçaba (urbano) e Joaçaba (interior) deste trabalho.

Para o município de Videira não foi possível obter resultado, tendo em vista a dificuldade de realizar este ensaio na camada superficial do terreno. Foram feitas três tentativas no local e a água não infiltrou. Apesar de feita a remoção de boa parte da camada superficial antes da cravação dos anéis, não foi obtido sucesso no ensaio, destacando que o terreno estava situado em região inclinada, apresentava um corte e o material superficial era argiloso. Desta forma o município de Videira não apresenta valores de permeabilidade para este ensaio.

#### 4.4 PIEZÔMETRO

O Gráfico 3 apresenta os valores de permeabilidade encontrados em campo, destacando o maior e o menor valor.

Gráfico 3 - Taxa de permeabilidade com piezômetro



Fonte: os autores (2021).

A diferença entre os valores, do maior para o menor, chega a quase 2800% (Concórdia (01), comparado a Zortéa).

Com base nos valores de permeabilidade, a classificação dos tipos de solos, levando em consideração todos os pontos, ficou na faixa de areias finas, areias argilosas siltes.

Para este método, Gemelli (2012) em estudos realizados em Lajeado Antinha, no bairro Santa Tereza no município de Joaçaba/SC, encontrou valores na ordem de  $4,26 \cdot 10^{-4}$  cm/s a  $3,33 \cdot 10^{-3}$  cm/s. Estes valores se assemelham com os valores encontrados para Joaçaba (urbano) e Joaçaba (interior) deste trabalho.

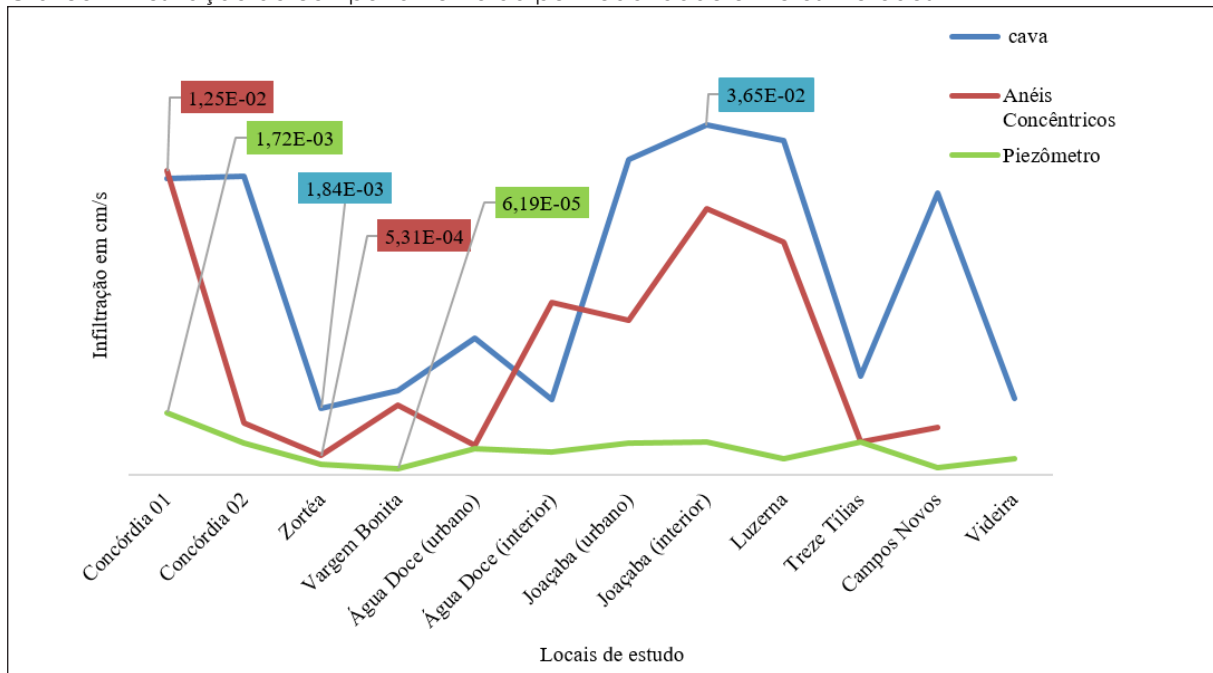
Para este método também, Wolfart (2009 apud GEMELLI, 2012), em estudos realizados na área urbana do município de Luzerna/SC, encontrou valores de  $6,4 \cdot 10^{-7}$  cm/s a  $1,26 \cdot 10^{-4}$  cm/s. Estes valores se assemelham com o valor encontrado no município de Luzerna deste trabalho.

Seguindo o mesmo método, Armani e Nienov (2020) em estudos realizados nos loteamentos Brisas do Vale I e II no município de Joaçaba/SC, encontraram valores de permeabilidade na ordem de  $2,39 \cdot 10^{-6}$  cm/s a  $2,04 \cdot 10^{-4}$  cm/s. Destaca-se que neste estudo a profundidade para os ensaios foram de 1,5 e 2,0m. Estes valores se assemelham com os valores encontrados para Joaçaba (urbano) e Joaçaba (interior) deste trabalho.

#### 4.5 COMPORTAMENTO DA PERMEABILIDADE ENTRE OS MÉTODOS

O Gráfico 4 apresenta uma ilustração de todos os métodos, destacando alguns com escala ampliada e outros reduzida de modo a fazer uma visualização do comportamento de todos os métodos ao mesmo tempo.

Gráfico 4 - Ilustração do comportamento da permeabilidade entre os métodos



Fonte: os autores (2021).

Pode-se observar que na maioria dos pontos, o método do piezômetro é o que apresenta o menor valor de permeabilidade, o de anéis concêntricos fica na faixa intermediária e o de cava na maioria dos casos apresenta o maior valor de infiltração. Na média os valores do ensaio com anéis chegam a ser nove (09) vezes maior que o piezômetro, enquanto a cava na média apresenta valores de quatro (04) vezes maior que o dos anéis.

Esta sequência dos métodos de acordo com os valores de permeabilidade, pode ser explicada primeiramente pela região de ensaio (superficial ou profunda) e pela área de infiltração. O ensaio de cava que apresenta maior valor de permeabilidade, foi realizado na parte superficial e apresenta uma área de infiltração maior que os anéis concêntricos, pois a água pode infiltrar tanto no fundo da cava como nas laterais; o ensaio dos anéis concêntricos também são realizados na região superficial, mas com área de infiltração menor que a cava, uma vez que tem apenas o fundo do anel como infiltração; e o piezômetro que apresenta valores menores comparado aos outros métodos, pode ser explicado pelo fato de ser realizado em maiores profundidades, podendo estar em contato com solos de características diferentes do solo superficial.

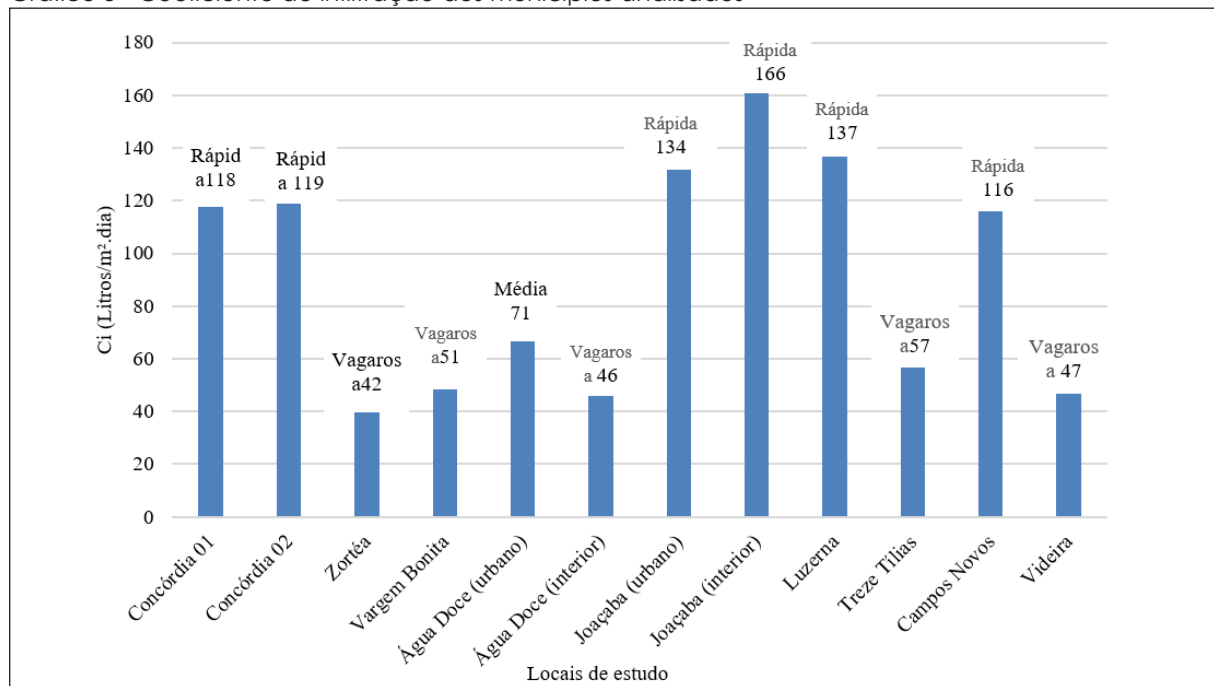
Quanto aos pontos que apresentaram sequências diferentes, esta pode estar relacionada com camadas de solos diferentes, inclinação do terreno como foi nos casos dos municípios de Concórdia (ponto 01) e de Água Doce (interior).



## 4.6 COEFICIENTE DE INFILTRAÇÃO

O Gráfico 5 apresenta o tipo de absorção relativa e a capacidade de permeabilidade em litros por m<sup>2</sup> por dia através de resultados obtidos com ensaio de cava em cada município para o dimensionamento de sumidouros.

Gráfico 5 - Coeficiente de infiltração dos municípios analisados



Fonte: os autores (2021).

Para os valores de Ci entre 40 a 60 l/m<sup>2</sup>.dia, estes caracterizam-se como solo argila arenosa e/ou siltosa variando a areia argilosa ou silte argiloso de cor amarela, vermelha ou marrom, com absorção relativa vagarosa.

Para o ponto de Água Doce (urbano), que ficou entre 60 a 90 l/m<sup>2</sup>.dia, ficou classificado como solo areia fina ou silte argiloso ou solo arenoso com humos e turfas variando a solos constituídos predominantemente de areia e silte e absorção relativa média.

Para os demais pontos que apresentaram valores superiores a 90 l/m<sup>2</sup>.dia, estes variaram de areia grossa a cascalho, tendo absorção relativa rápida.

O método de cava foi o único método encontrado na bibliografia para dimensionamento de sumidouro. Desta forma não foi possível correlacioná-lo com os métodos de anéis concêntricos e piezômetro, de modo a gerar valores de Ci para estes métodos também.

## 4.7 DIMENSIONAMENTO DE SUMIDOURO (EXEMPLO)

O Quadro 3 mostra qual seria a profundidade de um sumidouro, tendo como exemplo uma residência de padrão médio, contendo cinco (05) pessoas e contribuição de 650 litros de efluente diariamente e adotando um diâmetro de 1,5 m para o sumidouro.

Quadro 3 - Dimensionamento do sumidouro

Município	Rebaixamento da água	Ci	Área necessária para o sumidouro	Profundidade do Sumidouro
	(minutos/cm)	(litros/m <sup>2</sup> /dia)	(m <sup>2</sup> )	(m)
Concórdia 01	1,64	118	5,49	1,16
Concórdia 02	1,53	122	5,35	1,13
Zortéa	9,06	42	15,34	3,26
Vargem Bonita	7,15	51	12,81	2,72
Água Doce (urbano)	4,44	71	9,21	1,95
Água Doce (interior)	8,06	46	14,01	2,97
Joaçaba (urbano)	1,15	134	4,85	1,03
Joaçaba (interior)	0,46	166	3,92	0,83
Luzerna	1,09	137	4,76	1,01
Treze Tílias	6,12	57	11,43	2,43
Campos Novos	1,72	116	5,60	1,19
Videira	7,89	47	13,78	2,92

Fonte: os autores (2021).

Mantendo o mesmo padrão de residência, número de pessoas e contribuição de efluente em municípios diferentes, é notável que as características do solo influenciam significativamente no dimensionamento do sumidouro. Analisando as profundidades, a diferença pode chegar em quase quatro (04) vezes, como ocorreu para o município de Zortéa que apresentou uma profundidade de 3,26 m enquanto Joaçaba (interior) apresentou profundidade de 0,83 m.

## 5 CONCLUSÃO

Durante o período de levantamento de dados nos municípios escolhidos, onde a maioria era desprovido pelos serviços de rede e estação de tratamento de esgoto ou possuíam esses serviços parcialmente, a realização deste trabalho despertou a interesse das pessoas por onde passou, levando informação e conscientização quanto a importância e a necessidade de um dos projetos de engenharia, não menos importante que os demais, mas desconhecido por muitos.

De forma geral, levando em consideração o desempenho dos três métodos utilizados para determinação da permeabilidade, locais que apresentavam relevos mais inclinados e rochosos, os valores de permeabilidade apresentaram valores mais altos, caso que ocorreu

para o município de Concórdia (ponto 01), Joaçaba (interior) e Água Doce (interior). Estes pontos também apresentaram solos arenosos em sua composição.

O posicionado dos métodos para a realização dos ensaios, consoante a área de infiltração de cada um, destacou valores diferentes entre os métodos, tendo como maior valor de desempenho a cava, seguida pelos anéis concêntricos e por último o piezômetro. Ficou claro que ensaios realizados em regiões superficiais apresentaram valores de infiltração mais altos que aqueles realizados em maiores profundidades. Destaca-se a cava com os maiores valores, porém, este método permite infiltração tanto no fundo da cava como nas laterais, diferente do método dos anéis concêntricos que possui apenas a área do fundo para infiltração.

Quanto aos valores encontrados para auxiliar no dimensionamento de sumidouros, este trabalho apresentou a importância de se ter dados quanto a permeabilidade de cada solo onde se pretende construir, mostrando uma vasta variação de valores para cada região. Um profissional que realiza este tipo de projeto no município de Joaçaba por exemplo, não pode considerar os mesmos dados para um projeto no município de Zortéa, que necessita de uma área de absorção de quase quatro (04) vezes mais.

## REFERÊNCIAS

- ANTUNES, Henrique Bolacel. **Avaliação da condutividade hidráulica no laboratório e no campo em um solo siltoso da central de tratamento de resíduos da caturrita**. 2015. 66 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Maria, 2015.
- ARMANI, Leandro; NIENOV, Fabiano Alexandre. **Análise da permeabilidade do solo nos loteamentos Brisas do Vale I e II – Joaçaba – SC**. 2020. 18 p. Estágio Supervisionado II (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade do Oeste de Santa Catarina, 2020.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7229 – Projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos**. Rio de Janeiro, 1993.
- FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE - FUNASA. **Manual de saneamento**. ISBN: 85-7346-045-8. 2006.
- GEMELLI, Luiz Felipe. **Caracterização do solo superficial e determinação da taxa de permeabilidade da bacia do lajeado antinha – Joaçaba/SC**. 2012. Trabalho de Conclusão do Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade do Oeste de Santa Catarina, Joaçaba, 2012.
- JORDÃO, Eduardo Pacheco; PESSÔA, Constantino Arruda. **Tratamento de esgotos domésticos**. 5. ed. Rio de Janeiro: Abes, 2009. 940 p.
- PINHEIRO, Rinaldo J. B; NUMMER, Andréa Valli; RAUBER, Ana Carla. Determinação da condutividade hidráulica das principais unidades geológico-geotécnicas de Santa Maria – RS. **Geociências**, São Paulo: Editora Unesp, v. 36, n. 2, p. 347-363, 2017.
- PINTO, Carlos de Souza. **Curso Básico de Mecânica dos Solos**. 3. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2006. 355 p.

PINTO, Juliane dos Santos. **Estudo da condutividade hidráulica de solos para disposição de resíduos sólidos na região de Santa Maria**. 2005. 154 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2005.

SIMON, Guilherme. Quase 60% das cidades de SC não têm rede de coleta de esgoto, aponta IBGE. **Diário Catarinense**, Florianópolis, jul. 2020. Disponível em: <https://www.nsctotal.com.br/noticias/quase-60-das-cidades-de-sc-nao-tem-rede-de-coleta-de-esgoto-aponta-ibge>. Acesso em: 18 ago. 2021.