UNIVERSIDADE ESTADUAL DO CENTRO OESTE - UNICENTRO
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E AMBIENTAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO STRICTO SENSU EM ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL

LETÍCIA MARTINI GAMBA

ESTUDOS DE INFILTRAÇÃO DE ÁGUA NO SOLO EM DIFERENTES COBERTURAS VEGETAIS PARA IMPLANTAÇÃO DE NOVOS LOTEAMENTOS URBANOS NA REGIÃO SUDOESTE DO PARANÁ

IRATI
(2022)

LETÍCIA MARTINI GAMBA

ESTUDOS DE INFILTRAÇÃO DE ÁGUA NO SOLO EM DIFERENTES COBERTURAS VEGETAIS PARA IMPLANTAÇÃO DE NOVOS LOTEAMENTOS URBANOS NA REGIÃO SUDOESTE DO PARANÁ

Dissertação apresentada como requisito parcial a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Sanitária e Ambiental, Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Estadual do Centro Oeste – UNICENTRO-PR.

Orientador: Prof. Dr. Valdemir Antoneli.

IRATI
(2022)

Catalogação na Publicação
Rede de Bibliotecas da UNICENTRO

G187e

Gamba, Letícia Martini
Estudos de infiltração de água no solo em diferentes coberturas vegetais para implantação de novos loteamentos urbanos na região sudoeste do Paraná / Letícia Martini Gamba. – – Irati, 2022.
xiii, 63 f. : il. ; 28 cm

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual do Centro-Oeste, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental, 2022.

Orientador: Valdemir Antoneli.
Banca examinadora: Valdemir Antoneli; Lucas Ricardo Cardoso Marcon; Kely Viviane de Souza

Bibliografia

1. Física dos solos. 2. Infiltração. 3. Uso do solo. 4. Loteamentos urbanos. I. Título. II. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental.

CDD 628.4

TERMO DE APROVAÇÃO

Letícia Martini Gamba

Estudos de infiltração de água no solo em diferentes coberturas vegetais para implantação de novos loteamentos urbanos na região sudoeste do Paraná.

Dissertação aprovada em 14/09/2022, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre, no Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Engenharia Sanitária e Ambiental, área de concentração em Saneamento Ambiental e Recursos Hídricos, da Universidade Estadual do Centro-Oeste, pela seguinte Banca Examinadora:

Dr. Valdemir Antoneli
Universidade Estadual do Centro-Oeste
Orientador e Presidente da Banca

Dr. Lucas Ricardo Cardoso Marcon
INEGI - Portugal

Dra. Kely Viviane de Souza
Universidade Estadual do Centro-Oeste

Irati-PR, 14 de setembro de 2022.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por me conceder inteligência e sabedoria para concluir este estudo, e por ter abençoado minhas decisões e meu caminho ao longo desta jornada.

À minha família e meu namorado, não apenas neste estudo, mas em toda minha trajetória acadêmica, por me apoiarem em todos os momentos.

As amizades, a secretária Joelma Fedalto Vitor Ferreira e aos professores da Pós-Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental da UNICENTRO, por todo apoio, gentileza e conhecimento transmitido nesses anos.

Meu agradecimento especial ao meu orientador Valdemir Antoneli e sua esposa Lia Pontarolo pela disponibilidade e atenção dedicada a mim e a esta dissertação. A colaboração de vocês foi fundamental para o sucesso dele.

Meu orientador Valdemir ganhou minha admiração pela pessoa humilde que és e pelo amor ao seu trabalho. Em toda minha trajetória acadêmica desconheço alguém mais dedicado e com amor ao que faz do que ele, que desde o início se mostrou aberto a me ajudar em todo processo de conclusão desse estudo, que me trouxe inspiração e me motivou a ser melhor no que eu faço. Provando que quando somos boas pessoas, o universo nos apresenta e nos concebe boas pessoas para finalizar os ciclos de nossa vida. Gratidão por ter lhe conhecido, e por toda ajuda e conhecimento transmitido nessa jornada.

Por fim, agradeço ao professor João Anésio pela ajuda com seus conhecimentos geotécnicos e por toda sua disponibilidade e dedicação no auxílio dos ensaios físicos realizados em laboratório.

Dedico a Deus, por guiar meu caminho e me permitir chegar até aqui. Dedico também a minha família por todo o apoio e incentivo.

Os sonhos não determinam o lugar onde iremos chegar, mas produzem a força necessária para tirar-nos do lugar em que estamos.

Augusto Cury

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Ciclo hidrológico.....	16
Figura 2	Efeito do desenvolvimento urbano sobre o escoamento superficial..	18
Figura 3	Evolução do perfil de umidade em um solo natural.....	19
Figura 4	Curvas de capacidade e taxas de infiltração.....	21
Figura 5	Crescimento da população e urbanização de Pato Branco.....	31
Figura 6	Evolução temporal da malha urbana do município de Pato Branco..	32
Figura 7	Histórico das alterações da lei de uso ocupação e parcelamento do solo do município de Pato Branco.....	33
Figura 8	Localização do estado do Paraná no Brasil e do município de Pato Branco no mapa do Paraná.....	37
Figura 9	Localização das áreas de pesquisa no mapa base de Pato Branco.	38
Figura 10	Áreas experimentais de agricultura, pastagem e floresta.....	39
Figura 11	Coleta das amostras de solo.....	42
Figura 12	Ensaio com penetrômetro de impacto.....	44
Figura 13	Perfil de umidade do solo.....	45
Figura 14	Densidade do solo.....	47
Figura 15	Porosidade do solo.....	49
Figura 16	Resistência do solo.....	50
Figura 17	Taxa máxima de aplicação diária da água para cada uso do solo....	52
Figura 18	Taxa de percolação da água para cada uso do solo.....	53

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Valores de coeficiente de permeabilidade..... 23
Tabela 2 Taxa de percolação nos diversos usos do solo..... 51
Tabela 3 Taxa máxima de aplicação diária nos diversos usos do solo..... 51

SUMÁRIO

	RESUMO	**12**
	ABSTRACT	**13**
1.0	**INTRODUÇÃO**	**14**
2.0	**REVISÃO DE LITERATURA**	**16**
2.1	Ciclo hidrológico	16
2.2	Dinâmica hidrológica em áreas urbanas	17
2.3	Infiltração de água no solo	19
2.3.1	Capacidade de infiltração e taxa de infiltração	20
2.3.2	Fluxo de água e ar	21
2.3.3	Fatores que influenciam no processo de infiltração em solos não saturados	23
2.3.3.1	*Textura e estrutura*	26
2.3.3.2	*Cobertura vegetal*	27
2.3.3.3	*Manejo do Solo*	28
2.3.3.4	*Características da Água*	29
2.4	Caracterização ambiental do município de Pato Branco/PR	30
2.5	Instrumentos legais para o planejamento urbano do município	32
3.0	**METODOLOGIA**	**36**
3.1	Classificação da pesquisa	36
3.2	Localização da área de estudos	36
3.2.1	Áreas experimentais	37
3.3	Análise da infiltração do solo	40
3.4	Propriedades físicas do solo	41
3.4.1	Análise da umidade antecedente	41
3.4.2	Densidade aparente do solo	42
3.4.3	Densidade real das partículas	43
3.4.4	Porosidade	43
3.4.5	Resistência do solo	44
4.0	**RESULTADOS E DISCUSSÃO**	**45**

4.1 Caracterização física do solo..... 45
4.2 Capacidade de infiltração do solo..... 51
5.0 CONSIDERAÇÕES FINAIS..... 55
6.0 SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS..... 57
REFERÊNCIAS..... 58

RESUMO

GAMBA, L. M. **Estudos de infiltração de água no solo em diferentes coberturas vegetais para implantação de novos loteamentos urbanos na região sudoeste do Paraná.** 2022. 63f. Irati. Dissertação apresentada como requisito parcial a obtenção do grau de mestre em Engenharia Sanitária e Ambiental, Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Estadual do Centro Oeste – UNICENTRO-PR.

O progresso da urbanização sem o devido planejamento e o crescimento populacional acelerado das cidades provocam impactos ambientais que alteram as condições originais de uma determinada região. O impacto mais perceptível está no aumento do escoamento superficial, motivado pela utilização do solo de forma desordenada, o qual aumenta o percentual de áreas impermeabilizadas e reduz as áreas naturais de infiltração. A impermeabilização que resulta da expansão urbana transforma as características naturais do espaço e altera os processos de infiltração. A infiltração do solo compreende o processo pelo qual a água atravessa a superfície do solo, sendo que o conhecimento desta variável é de grande importância para o planejamento urbano e o adequado manejo do solo urbano. A ação da infiltração em determinado tipo de solo, depende das condições de uso do solo as quais indicam as possibilidades de permeabilidade superficial. Um indicador de impacto de alteração do uso do solo, é o estudo do comportamento do processo de infiltração, em razão de que, alterando-se o uso, altera-se a intensidade de impermeabilização da superfície modificando as condições de infiltração. Nesta perspectiva, a presente pesquisa apresenta um estudo experimental, que avalia a infiltração da água no solo com diferentes usos (agricultura, pastagem e floresta), visando quantificar a capacidade de infiltração da água no solo das áreas de estudos, e demonstrar a comunidade que num processo de educação ambiental é possível melhorar a qualidade da drenagem. Foram selecionadas três áreas para implantação deste estudo, nas zonas de expansão do município, em locais de novos loteamentos urbanos, localizados respectivamente na região Norte, Sul e Leste de Pato Branco/PR. Os resultados foram obtidos por meio da avaliação da capacidade de infiltração nos diferentes tipos de solo sob a condutividade hidráulica e a variação de alguns parâmetros físicos do solo. Este estudo vem validar os parâmetros estudados, uma vez que, obteve uma redução de 86% na taxa de percolação do uso agricultura em comparação ao uso floresta e 63% do uso agricultura em comparação ao uso pastagem. A taxa de infiltração apresentou-se com grande variação nos usos pastagem e agricultura, com menor capacidade de infiltração. Já o uso floresta apresentou maior taxa de infiltração, sendo observada menor dispersão da taxa de infiltração. Cada uso apresenta uma dinâmica de infiltração diferente, embora todas façam parte da mesma unidade territorial e com mesma geomorfologia. Desse modo, pode-se afirmar que neste estudo, foi evidenciado as variações na capacidade de infiltração, concluindo que a infiltração na área de agricultura é reduzida, se comparada com as áreas de floresta e pastagem que apresentam um manejo mais adequado dos solos. E mesmo existindo uma legislação que orienta as zonas de ocupação e suas respectivas taxas, a ausência de planejamento na ocupação do solo coopera para um alto percentual de área impermeabilizada nos mesmos, acarretando em maior escoamento superficial em períodos de chuva.

Palavras chaves: Física dos solos. Infiltração. Uso do solo. Loteamentos urbanos.

ABSTRACT

GAMBA, L. M. **Studies of soil water infiltration in different vegetation cover for the implementation of new urban subdivisions in the southwestern region of Paraná.** 2022. 63f. Irati. Dissertation presented as a partial requirement to obtain a master's degree in Sanitary and Environmental Engineering, Stricto Sensu Graduate Program in Sanitary and Environmental Engineering at the State University of the Midwest - UNICENTRO-PR.

The progress of urbanization without proper planning and the accelerated population growth of cities cause environmental impacts that change the original conditions of a certain region. The most noticeable impact is the increase in surface runoff, motivated by the disorderly use of the soil, which increases the percentage of waterproofed areas and reduces the natural areas of infiltration. The waterproofing that results from urban expansion transforms the natural characteristics of the space and alters the infiltration processes. Soil infiltration comprises the process by which water crosses the soil surface, and the knowledge of this variable is of great importance for urban planning and the proper management of urban soil. The action of infiltration in a given type of soil depends on the conditions of use of the soil which indicate the possibilities of surface permeability. An indicator of the impact of land use change is the study of the behavior of the infiltration process, since, by changing the use, the surface waterproofing intensity changes, modifying the infiltration conditions. In this perspective, the present research presents an experimental study, which evaluates the infiltration of water in the soil with different uses (agriculture, pasture and forest), aiming to quantify the infiltration capacity of water in the soil of the study areas, and to demonstrate the community that in an environmental education process it is possible to improve the quality of drainage. Three areas were selected for implementation of this study, in the expansion zones of the municipality, in places of new urban subdivisions, located respectively in the North, South and East of Pato Branco/PR. The results were obtained through the evaluation of the infiltration capacity in the different types of soil under the hydraulic conductivity and the variation of some physical parameters of the soil. This study validates the parameters studied, since it obtained a 86% reduction in the percolation rate of agricultural use compared to forest use and 63% of agricultural use compared to pasture use. The infiltration rate showed great variation in pasture and agriculture uses, with lower infiltration capacity. On the other hand, forest use showed a higher rate of infiltration, with a lower dispersion of the infiltration rate being observed. Each use presents different infiltration dynamics, although they are all part of the same territorial unit and with the same geomorphology. Thus, it can be said that in this study, variations in infiltration capacity were evidenced, concluding that infiltration in the agricultural area is reduced, compared to forest and pasture areas that present a more adequate management of the soils. And even though there is legislation that guides the occupation zones and their respective rates, the lack of planning in the occupation of the soil contributes to a high percentage of waterproofed area in them, resulting in greater surface runoff in periods of rain.

Key-words: Soil physics. Infiltration. Use of the soil. Urban subdivisions.

1.0 INTRODUÇÃO

O funcionamento do ciclo natural da água vem sendo modificado pela alteração das características naturais da bacia hidrográfica, ou seja, muitas cidades estão apresentando índices altos de enchentes pela grande formação de volumes de escoamento superficial, consequência da redução da infiltração de chuva no solo, ocasionada pela impermeabilização do solo (JABUR, 2010).

A infiltração é o método de transmissão do fluxo da superfície para o interior do solo, através de vazios, perante a influência da gravidade, até atingir a saturação. Ou seja, é o processo de velocidade do fluxo de água através da camada não saturada do solo até o lençol freático (zona saturada). Esta depende também do estado de umidade da camada superior do solo e do tipo de solo (REICHARDT, 1987; POTT, 2001; FARIAS, 2015;).

A infiltração decorre de diversas condições, tais como: estado físico do solo (porosidade, densidade, compactação, textura, profundidade, umidade antecedente, declividade, entre outros), características da precipitação pluviométrica (intensidade e volume) (SANTOS; PEREIRA, 2013), manejo do solo (BRANDÃO et al., 2006; MANCUSO et al., 2014), uso do solo (floresta, pastagem, agricultura) (CHEN e WAGENET, 1992) e ação do homem sobre o solo (ANTONELI; THOMAZ, 2009).

Segundo Avila (2015), a ação da infiltração em determinado tipo de solo, depende das condições de uso do solo as quais indicam as possibilidades de permeabilidade superficial, elabora-se a hipótese na qual a alteração de uso do solo, como área de floresta, influencia o desempenho do processo de infiltração. Um indicador de impacto de alteração do uso do solo, pode ser o estudo do comportamento do processo de infiltração, em razão de que, alterando-se o uso, altera-se a intensidade de impermeabilização da superfície modificando as condições de infiltração.

O comportamento do solo na classe florestal está relacionado ao depósito de matéria orgânica sobre o solo, o que agrega nutrientes e possibilita que ele apresente características de um solo fértil com grande capacidade de infiltração. As coberturas florestais contribuem para melhoria e conservação dos atributos físicos e da dinâmica da água do solo na camada superficial, onde a deposição da serapilheira eleva o teor de matéria orgânica e deixa o solo mais poroso (BARBOSA, 2012). No entanto, a expansão urbana, ao progredir sobre áreas de florestas, diminui a permeabilidade do solo (FARIA et al; PEDROSA, 2005).

Em áreas urbanas a tendência é baixa capacidade de infiltração, solos compactados e degradados em função do seu uso. A impermeabilização que resulta da expansão urbana transforma as características naturais do espaço e altera os processos de infiltração. O aumento das áreas urbanas sempre provoca impacto ao ambiente natural e construído, pois alteram-se as condições locais, modificando os regimes de escoamento e infiltração (FARIA; PEDROSA, 2005).

A cidade de Pato Branco, localizada na região sudoeste do Estado do Paraná, desenvolveu-se as margens dos rios, sem planejamento urbano. Na década de 70 o Rio Ligeiro abastecia as casas patobranquenses. Na atualidade sofre problemas ambientais pela falta de planejamento e manejo da bacia hidrográfica (JABUR, 2010), e pela não consideração das condicionantes geológicas na utilização de seu espaço territorial fazendo com que os efeitos da degradação ambiental sejam constatados em diversas áreas do município.

Nesse contexto percebe-se a importância de planejamentos bem elaborados para novos loteamentos urbanos, levando em consideração os diversos usos do solo, de modo que a infiltração de água no solo seja uma condicionante para aumentar o tempo de concentração da bacia, tardar os escoamentos, tal como, reduzir as vazões máximas (CANHOLI, 2014), minimizando o escoamento a jusante, infiltrando as águas pluviais antes que estas cheguem à fonte.

Na literatura são insipientes pesquisas que analisem a taxa de infiltração de água no solo em locais de novos loteamentos urbanos. Nesse contexto, esta pesquisa tem por objetivo apresentar um estudo que avalia a infiltração da água no solo com diferentes usos (agricultura, pastagem e floresta) e que serão áreas utilizadas para novos loteamentos urbanos, no município de Pato Branco na região sudoeste do Paraná. Sendo que o conhecimento desta variável é de grande importância para o planejamento urbano e o adequado manejo do solo urbano.

Afim de validar a importância dos usos do solo no planejamento de novos loteamentos urbanos, tendo em vista, que a ação do uso do solo é elemento essencial no controle de processos hidroerosivos (ANTONELI; THOMAZ, 2009), evitando o sobre carregamento do sistema de drenagem de novos loteamentos.

Para dar suporte a esta pesquisa foram avaliados alguns parâmetros do solo, como densidade, resistência, porosidade e umidade.

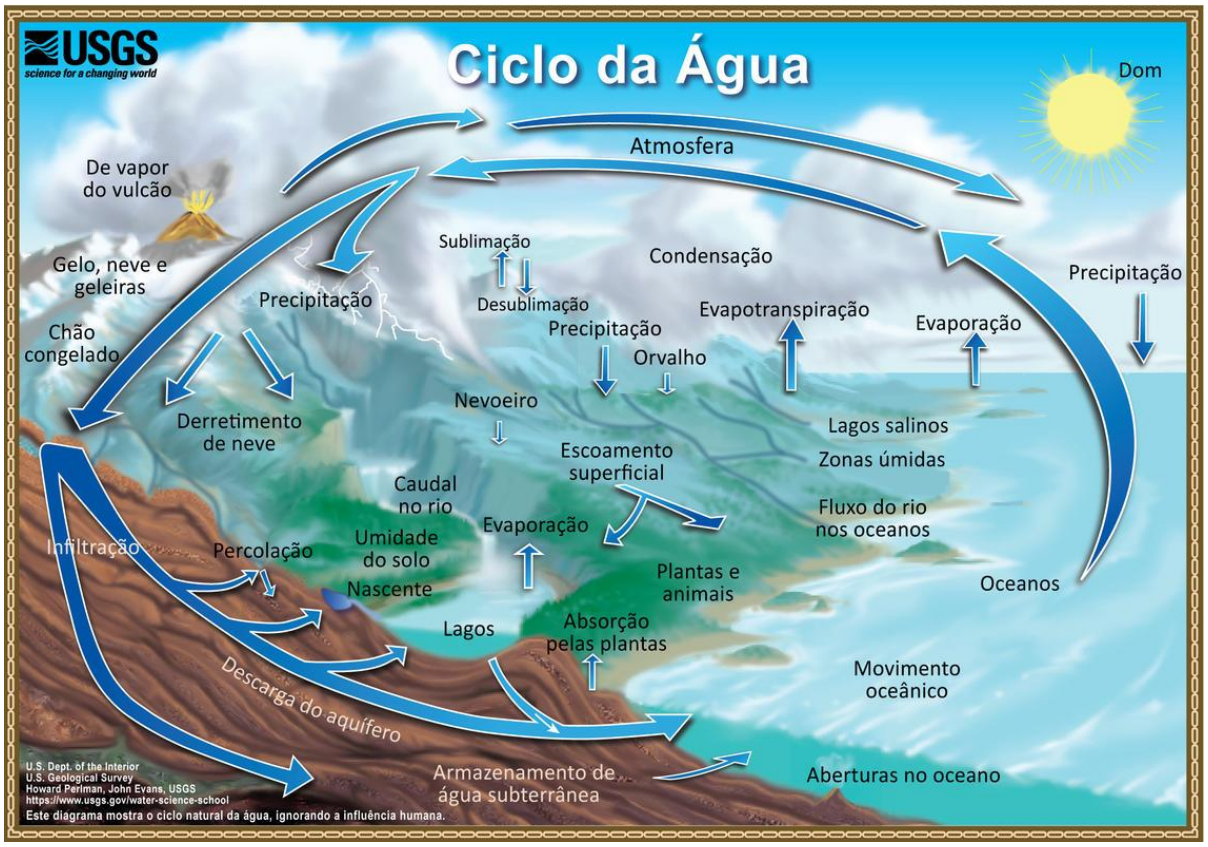
Partimos da hipótese de que se há variação no tipo de uso do solo, haverá variação nas taxas de infiltração, pois cada tipo de uso apresenta diferentes características físicas do solo.

2.0 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Ciclo hidrológico

O ciclo hidrológico é o processo natural de evaporação, condensação, precipitação, retenção e escoamento superficial, infiltração, percolação da água no solo e nos aquíferos, escoamentos fluviais e relações entre esses elementos (LIMA, 2008). O ciclo hidrológico pode ser representado da seguinte maneira (figura 1):

Figura 1 – Ciclo hidrológico



Fonte: USGS – Science for a changing world, (2019).

O ciclo da água é movido pela energia solar, que aquece a terra e as massas de água, promovendo a evaporação da água, ou seja, a água passa do estado líquido na superfície para o gasoso na atmosfera, ou também pela transpiração dos seres vivos (processo de evapotranspiração) (PINTO et al., 2008; MARTINS, 2008).

O vapor de água liberado nos diferentes processos sobe até camadas mais altas da atmosfera, nas quais se condensa devido a diminuição da temperatura formando nuvens. A água retorna à superfície da terra por meio da precipitação, onde parte da água evapora de imediato (AYOADE, 2010).

Uma das principais influências da floresta ocorre já no recebimento das chuvas onde parcela fica retida na vegetação, quando se dá o primeiro fracionamento da água, podendo sofrer evaporação ou atingir o solo, por meio do escorrimento do tronco ou queda das copas das árvores. Ao retornar para a superfície, a água pode seguir diferentes caminhos, como acumular-se em rios, lagos e oceanos ou infiltrar-se no solo (JABUR, 2010).

No entanto, pode haver variações em alguns dos elementos levando a um processo resposta em sequência. Por exemplo, se há remoção da vegetação, há uma mudança na entrada de água no solo reduzindo a taxa de infiltração e potencializando o processo erosivo. Conforme (Arcova, et al., 2003) em bacias florestais a cobertura florestal possui relação com o ciclo hidrológico, interferindo no movimento da água em vários compartimentos dos sistemas, inclusive nas saídas para a atmosfera e para os rios.

2.2 Dinâmica hidrológica em áreas urbanas

O progresso da urbanização e o crescimento populacional acelerado das cidades provocam impactos ambientais que alteram demasiadamente as condições originais de uma determinada região. As consequências primárias desses acontecimentos destacam-se nas propriedades hidrológicas locais, do qual o efeito mais perceptível está no acréscimo do escoamento superficial, provocado pela ocupação do solo de forma desordenada, o qual reduz as áreas naturais de infiltração.

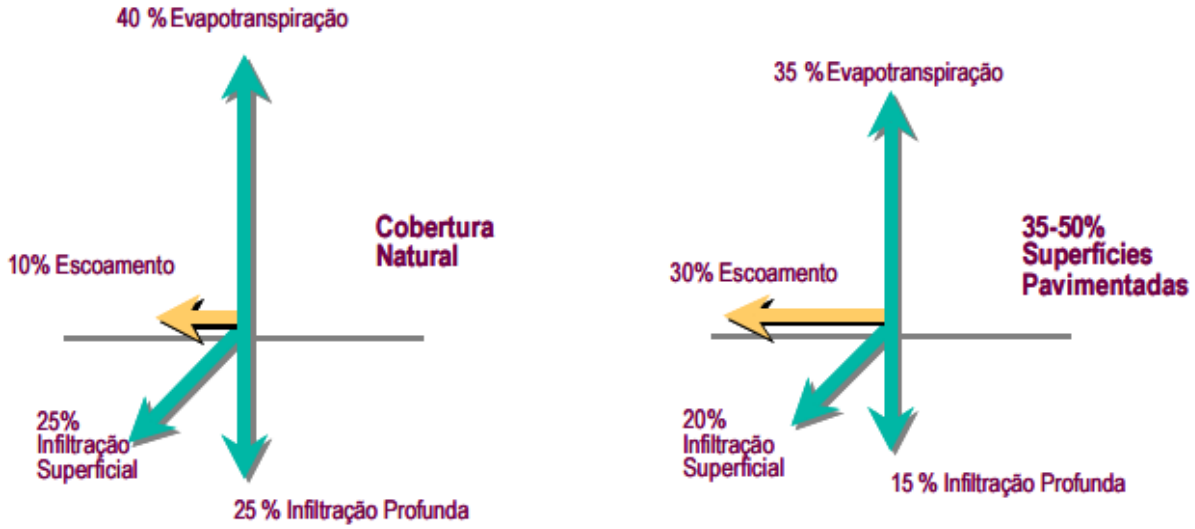
Segundo dados do IBGE (2010), o crescimento urbano no Brasil, aliado com a intensa migração da população rural se deu de forma desenfreada e caótica, onde a população urbana atingiu 84% da população total em menos de sessenta anos.

Além de acelerado, o processo de urbanização acontece sem planejamento e ações que propiciem o uso adequado da ocupação do solo. Geralmente, os resultados dessas intervenções são negativos, com consequências muitas vezes irreversíveis ao meio ambiente (SILVA, 2006).

Sendo estes positivos quando ocorrem de forma planejada, propiciando benefícios na infraestrutura local e avanço tecnológico. Por outro lado, são negativos quando o destino das águas pluviais ocorre de forma acelerada e desordenada, causando o agravamento das inundações urbanas, devido à ocupação irregular do solo e o aumento de áreas impermeáveis (LIMA, 2008).

Nas áreas urbanas, o ciclo hidrológico é alterado pela remoção da cobertura vegetal e substituição por estruturas impermeáveis. TUCCI (2003), corrobora com esta questão ao afirmar que em áreas urbanas o ciclo hidrológico pode ocorrer alterações em até 40% sobre o escoamento superficial. Desta forma a impermeabilização altera a dinâmica hidrológica, com redução da infiltração e aumento do escoamento superficial, aumentando o risco de inundações. A influência da urbanização na alteração do ciclo hidrológico pode ser observada na figura 2.

Figura 2 – Efeito do desenvolvimento urbano sobre o escoamento superficial



Fonte: Suderhsa, (2002).

A cobertura vegetal é reduzida com a impermeabilização do solo e o crescimento urbano, consequentemente a água que no começo infiltrava transforma-se em escoamento superficial. A figura 2 ilustra as mudanças na porcentagem de cada um dos componentes do ciclo hidrológico em consequência da urbanização. De acordo com Tucci 2005, a urbanização origina as seguintes alterações no ciclo hidrológico:

- Redução da infiltração de água no solo;
- Aumento do volume e velocidade do escoamento superficial por intermédio dos condutos;
- Aumento da vazão máxima ou vazão pico;
- Redução do nível do lençol freático por falta de alimentação, reduzindo assim o escoamento subterrâneo;
- Redução da evapotranspiração gerada pelo solo e das folhagens pela substituição da cobertura vegetal.

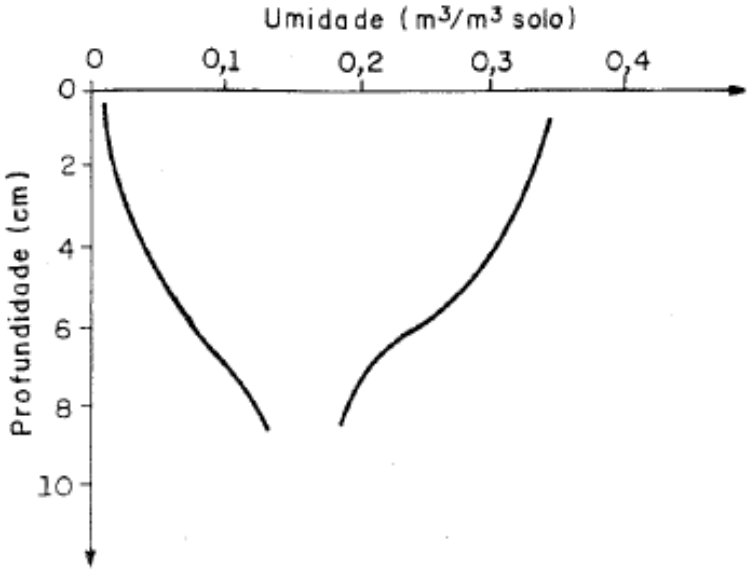
O ciclo hidrológico nas cidades é afetado nas alterações morfológicas na topografia, impermeabilização do solo, alterações morfológicas na topografia, obras de engenharia nos canais fluviais, remoção da vegetação, e deposição irregular de resíduos. Apesar dos inúmeros elementos do ambiente natural serem atingidos por atividades humanas, a disposição do ciclo da água se mantém nas áreas urbanas, impactando no sistema de drenagem, com a elevação do pico de vazão de cheia, acréscimo do escoamento superficial, bem como, aumento da intensidade das precipitações (ANDRADE; BLUMENSCHEIN, 2013).

2.3 Infiltração de água no solo

A infiltração é o processo de transferência de água das camadas de solo próximas à superfície do terreno, em movimento descendente, através dos vazios, perante ação da gravidade, até atingir uma camada suporte de solo impermeável, que a retém originando então a água do solo (PINTO et al., 2008).

À medida que a água infiltra pela superfície, as camadas superiores do solo vão se umidificando de cima para baixo, variando gradualmente o perfil de umidade. Quando a contribuição de água à superfície finda, a umidade no interior do solo se redistribui, gerando um aumento de teores de umidade nas camadas mais profundas e teores menores mais próximo à superfície. A figura 3 ilustra a evolução do perfil de umidade em um solo natural sujeito à infiltração (TUCCI, 2004).

Figura 3 – Evolução do perfil de umidade em um solo natural



Fonte: Tucci, (2002).

Nos solos, o movimento da água e ar se dão em função das variações do potencial total do fluido no solo. Desta forma, a infiltração da água no solo pode ser considerada a sequência das três seguintes fases (GARCEZ; ALVARES 1988):

- Fase de intercâmbio: nesta etapa a água se aloja próximo à superfície, podendo evaporar ou ser absorvida pelas raízes das plantas;
- Fase de descida: deslocamento vertical da água pelo perfil do solo cujo processo ocorre pela ação do peso próprio superando a adesão e a capilaridade;
- Fase de circulação: vencidas as forças de adesão e capilaridade, o movimento da água continua, com ação da gravidade, e alcança os lençóis subterrâneos.

Conforme Pinto (2008), numa análise completa de infiltração da água no solo, deve-se levar em conta a complexidade do processo devido aos fatores que influem nesse procedimento, sendo eles: tipologia do solo, cobertura vegetal, umidade, precipitação pluviométrica, proporções de água e ar e a ação do homem sobre o solo.

2.3.*1 Capacidade de infiltração e taxa de infiltração*

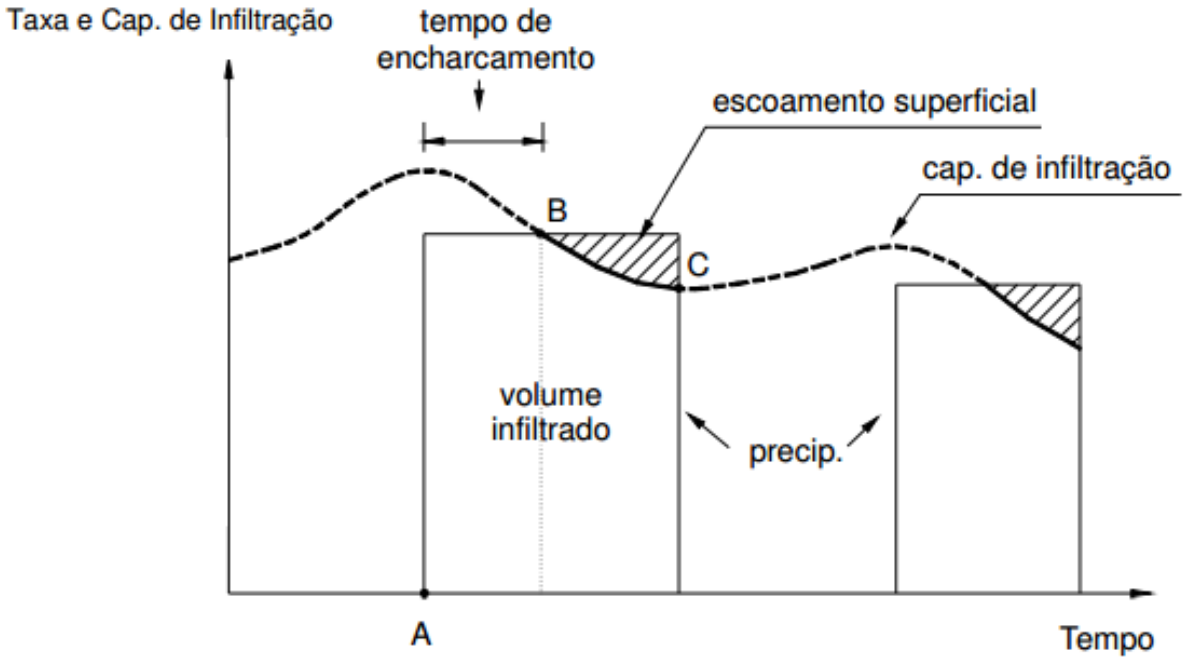
A capacidade de infiltração é o potencial que o solo tem de absorver água pela sua superfície, em termos de lâmina d'água por tempo (mm/h), sendo aplicada no estudo da infiltração para diferenciar o potencial que o solo tem de absorver água pela sua superfície, onde a taxa real de infiltração (expressa em mm/h) acontece quando há disponibilidade de água para penetrar no solo (TUCCI, 2004).

A chuva que atinge um solo inicialmente seco será absorvida totalmente pelo solo, enquanto este apresenta muitos poros vazios (com ar). Nessa condição, o potencial hidráulico do solo é muito alto, e a água da chuva é absorvida muito rapidamente. À medida que os poros vão sendo preenchidos, a infiltração tende a diminuir, estando limitada pela capacidade do solo de transferir a água para as camadas mais profundas (COLLISCHONN; DORNELLES, 2013).

Uma curva de taxas reais de infiltração no tempo somente coincide com a curva das capacidades de infiltração de um solo, quando a contribuição superficial de água tem intensidade excedente ou idêntica à capacidade de infiltração (TUCCI, 2004). A figura 4 ilustra o desenvolvimento típico das curvas representativas da

evolução temporal da infiltração real e da capacidade de infiltração com a ocorrência de uma precipitação.

Figura 4 – Curvas de capacidade e taxas de infiltração



Fonte: Adaptado de Tucci, (2004).

O solo inicia o aumento do seu teor de umidade no tempo t = A, de forma que sua capacidade de infiltração diminui. Essa continua a decrescer no tempo t = B, quando a velocidade de infiltração equivale à capacidade de infiltração. Nesse momento, inicia-se o escoamento superficial. No tempo t = C, a chuva cessa, e o solo inicia o processo de perda de umidade por evapotranspiração. Em seguida, a capacidade de infiltração começa a aumentar, e o procedimento descrito volta a se repetir quando outra precipitação ocorre.

A umidade do solo é uma variante na capacidade de infiltração de água no solo. A capacidade de infiltração é frequentemente elevada em solos secos. Porém, conforme o solo vai se tornando úmido, a capacidade de infiltração reduz (COLLISCHONN; DORNELLES, 2013).

2.3.*2 Fluxo de água e ar*

A velocidade de infiltração é definida como a velocidade média de escoamento da água por meio de um solo saturado, definida pela relação entre a quantidade de água que percorre a unidade de área do material filtrante do solo

durante a unidade de tempo, podendo ser expressa em metros por segundo (PINTO et al., 2008).

O coeficiente de permeabilidade, segundo Garcez e Alvarez (1988), é a velocidade de filtração da água em um solo saturado, com perda de carga unitária a certa temperatura. Esse coeficiente mede a facilidade que cada solo, quando saturado, oferece ao escoamento da água através de seus poros, expresso em metros por segundo. A permeabilidade depende principalmente da porosidade, da granulometria e das formas dos grãos.

O equacionamento geral da infiltração, segundo Pinto et al. (2008), é feito a partir da representação matemática do movimento da água em solos não saturados, ou seja, solos com teor de umidade abaixo da saturação. O fluxo de água em meio poroso pode ser descrito pela equação de Darcy (equação 1). Henry Darcy concluiu experimentalmente que a velocidade de percolação é diretamente proporcional ao gradiente hidráulico, ou às diferenças de pressão.

$$q = K \times \frac{\partial h}{\partial x} \text{ e } Q = K \times A \times \frac{\partial h}{\partial x} \quad (1)$$

Onde:

- Q é o fluxo de água (m^3/s);
- A é a área (m^2);
- q é o fluxo de água por unidade de área (m/s);
- *K* é a condutividade hidráulica (m/s);
- h é a carga hidráulica e x à distância.

Conforme Collischonn e Dornelles (2013) a condutividade hidráulica K é fortemente dependente do tipo de material poroso. Assim o valor de K para solos arenosos é da ordem de grandeza de dezenas de cm/h. Para solos siltosos este valor cai para ordem de alguns cm/h, e em solos argilosos, ocorrem valores inferiores a 0,1 cm/h. Portanto, em geral, os solos arenosos conduzem com mais facilidade a água do que os solos argilosos, e a infiltração e a percolação da água no solo são mais intensas e rápidas nos solos arenosos do que nos solos argilosos.

Na tabela 1 são representados os valores de grandeza para os coeficientes de permeabilidade.

Tabela 1 – Valores de coeficiente de permeabilidade

Solo	Coeficiente de permeabilidade (K em m/s)
Pedregulho	5.10^{-5} a 5.10^{-2}
Areia grossa	15.10^{-2} a 10^{-3}
Areia fina	10^{-2} a 10^{-3}
Areia de duna	10^{-4} a 10^{-5}
Silte	10^{-5} a 10^{-7}
Argila arenosa	10^{-7} a 10^{-8}
Argila	$< 10^{-8}$

Fonte: Garcez e Alvarez, (1988).

A chuva que atinge um solo inicialmente seco, apresentando muitos poros vazios (com ar), será inicialmente absorvida quase que totalmente pelo solo. Quando os poros vão sendo preenchidos, a infiltração tende a reduzir, estando demarcada pela capacidade do solo de transportar a água para as camadas mais profundas. Neste momento, quando o solo está próximo a saturação, a capacidade de infiltração permanece constante e aproximadamente igual à condutividade hidráulica (TUCCI, 2004).

2.3.3 Fatores que influenciam no processo de infiltração em solos não saturados

O solo não saturado é o solo do qual os vazios não estão totalmente preenchidos por água. Ele é composto por quatro fases: partículas sólidas, água, ar e película contrátil. A película contrátil deve ser identificada como uma fase do solo, devido às suas propriedades e ao seu papel no comportamento do solo. Pode-se afirmar que as fases água e ar fluem nos poros do solo durante o tempo que são submetidas a gradientes energéticos e a estrutura sólido, junto com a rede de películas contráteis, igualam-se e deformam quando sujeitas a variações de esforços de tensões (FREDLUND; RAHARDJO, 1993, apud CARVALHO et al., 2006).

Segundo Carvalho e Silva (2006), a infiltração é um processo que transcorre, por consequência de diversos fatores, dentre os quais:

- **Condições do solo:** geralmente, a preparação do solo tende a expandir a capacidade de infiltração. Entretanto, se a forma de manejo e preparo do solo forem falhas, a sua propriedade de infiltração poderá tornar-se menor à de um solo sem preparo, sobretudo se a cobertura vegetal existente sobre o solo for retirada.

- **Carga hidráulica:** quanto maior a carga hidráulica, ou seja, a espessura da lâmina de água sobre o plano do solo, mais eficiente será a taxa de infiltração.
- **Temperatura:** a velocidade de infiltração cresce com a temperatura, em razão da redução da viscosidade da água.
- **Presença de fendas, rachaduras e canais biológicos originados por raízes decompostas ou pela fauna do solo:** estas estruturas agem como acessos preferenciais por onde a água se desloca com pouca resistência e, por isso, ampliam a capacidade de infiltração.
- **Condições da superfície:** é fator decisivo no processo de infiltração a natureza da superfície considerada. Áreas urbanizadas apontam menores velocidades de infiltração quando comparadas com áreas agrícolas, especialmente, quando estas têm cobertura vegetal. Segundo Freitas (2018), quanto maior for a impermeabilização do solo, ou seja, menor a infiltração da água, associado a declividade, a água poderá escoar mais rapidamente ou não, o que determinará o evento de inundações e enxurradas. As áreas destinadas para jardins, uso agrícola e vegetação rasteira possibilitam uma alta infiltração da água no solo e, as áreas com vegetação arbórea arbustiva propiciam máxima infiltração da água no solo. As áreas de loteamentos e em ampliação urbana propiciam uma taxa de infiltração média da água no solo. As áreas de infiltração mínima são as análogas à área urbana, considerando áreas ocupadas por indústrias, residências, comércios e serviços onde ocorre a impermeabilização do solo.
- **Cobertura vegetal:** a existência de cobertura vegetal propicia a formação de uma camada de matéria orgânica em decomposição que beneficia a atividade de insetos, microbiana e de animais o que colabora para formar caminhos preferenciais que reduz ainda o impacto das gotas de chuva e para o movimento da água no solo. A cobertura vegetal também atua com a finalidade de reduzir a velocidade do escoamento superficial e, colabora para ampliar o volume de água infiltrada.

- **Umidade inicial do solo:** para um determinado solo, quanto mais seco estiver o solo no início, maior será a sua capacidade de infiltração.
- **Tipo de solo:** estrutura e a textura são características que influenciam significativamente na infiltração. Segundo Canholi (2005), dependendo da individualidade do solo, como a profundidade, por exemplo, haverá a interferência na quantidade de água que será escoada superficialmente ou infiltrará. Solos mais profundos tem maior potencial de reter água e propiciar a infiltração, pois levam mais tempo para ficarem saturados, diferente dos solos mais rasos.
- **Compactação do solo pela ação da chuva:** a precipitação ao alcançar a superfície do solo pode proporcionar uma compactação desta, diminuindo o potencial de infiltração. A intensidade desse processo altera com o total de cobertura vegetal, com a estabilidade dos agregados do solo e com a energia cinética da precipitação.
- **Compactação do solo por máquinas e/ou por animais:** o fluxo excessivo de máquinas sobre a extensão do solo, gera uma camada compactada que diminuí o potencial de infiltração do solo. Em áreas de pastagem os solos também suportam acentuada compactação pelos cascos dos animais.

A infiltração de água no solo é uma propriedade influenciada por diversos fatores, de acordo as condições a que ele é submetido. No entanto, destacam-se as propriedades físicas do solo como densidade (ALVES et al., 2007; PANACHUKI et al., 2011; ZWIRTES et al., 2012) textura e estrutura (MESQUITA; MORAES, 2004; SILVA et al., 2005), umidade (ANDRADE et al., 1987), e porosidade (NICOLOSO et al., 2008, SALES et al., 1999), que atuam significativamente na movimentação da água no solo e influenciam na taxa de infiltração, e a cobertura vegetal e manejo do solo, que atuam no impacto das gotas de chuva que formam canais preferenciais pelo sistema radicular das plantas, e são fatores determinantes do processo de infiltração (FARIA, et al, 1998). Sendo assim, serão detalhados com maior ênfase a seguir.

2.3.*3.1 Textura e Estrutura*

O solo é considerado um aglomerado de partículas sólidas de variadas formas e dimensões, alternadas por poros de várias proporções. Logo, são constituídos por duas partes: os poros e os sólidos. Os poros contem ar ou água e são interligados, podendo se movimentar. A parte sólida é constituída basicamente por minerais, que representam mais de 85% da massa na grande maioria dos tipos de solos. Todavia, no solo também existem diversos organismos vivos (insetos, fungos, raízes, vermes, bactérias) e matéria orgânica, sobretudo nas camadas próximas a superfície (COLLISCHONN; DORNELLES, 2013).

Conforme Craig (2013), as propriedades relevantes do material são a graduação das partículas e a plasticidade, que podem ser definidas por ensaios padronizados em laboratórios ou por métodos visuais e manuais simples. A textura, o formato e a cor do solo, e a composição das partículas são características secundárias do material. As especificações referentes à massa são definidas preferivelmente em campo, contudo em muitos casos podem ser detectadas em amostras indeformadas (amostras na qual a estrutura do solo no local foi conservada). A macrotextura do solo deve também, ser descrita e considerada cuidadosamente, tendo em vista, que ela influência de forma considerável o comportamento do solo local.

Solos de textura arenosa apresentam maior número de macroporos associados que os solos argilosos e, como efeito, possuem condutividade hidráulica e taxa de infiltração maior, embora os solos argilosos disponham mais porosidade. Todavia, os solos argilosos com boa estrutura mostram superiores taxas de infiltração do que os solos que não possuem boa estruturação, que dispersão quando sujeitos a algum agente desagregador. A matéria orgânica e os óxidos de ferro e alumínio representam a estabilidade dos agregados. Consequentemente, o solo apresenta melhor estrutura quanto maior a quantidade desses compostos no solo (SILVA; KATO, 1997).

De acordo com Oliveira (2005) solos mais intemperizados são caracterizados pela presença predominante de óxidos de Ferro e Alumínio nas partículas finais em relação às argilas silicatadas. Assim, a estrutura do solo pode exercer influência muito mais expressiva na taxa de infiltração do que a textura. Camadas diferentes em textura ou estrutura no perfil do solo atrasam o movimento de água durante a

infiltração. Ademais, camadas de argila e areia podem se comportar de forma similar, porém com razões diferentes.

O impacto da estrutura, em particular dos poros grandes, possibilita que um solo argiloso tenha valores de condutividade hidráulica aproximado a solos arenosos. Desse modo, determinar a condutividade hidráulica a partir das propriedades do solo é um processo complexo que compreende todos os aspectos que influenciam nestas propriedades e nas relações entre elas (MESQUITA; MORAES, 2004).

Os solos são definidos conforme suas formas morfológicas, gênese e seus processos de formação, logo, a relação observada em um local pode não ser aplicada a outros locais, tendo em vista que as variáveis dos solos se alteram de acordo com o relevo (KUTILEK; NIELSEN, 1994). Assim, resultados obtidos e deduzidos são para áreas específicas e são interpretados como informações de um tipo particular de solo.

2.3.*3.2 Cobertura Vegetal*

O estado físico da superfície é condição decisiva no processo de infiltração. Por apresentarem elevadas taxas de impermeabilização, impedindo sua capacidade de infiltração, as áreas urbanizadas dispõem de menores taxas de infiltração do que áreas agrícolas. Além de que, o sistema radicular das plantas produz caminhos que facilitam o movimento da água (PRUSKI et al., 2003).

Na ligação floresta-água, a cobertura florestal tem importante relação sobre a hidrologia do solo, promovendo os movimentos de percolação e armazenamento da água, diminuindo o escoamento superficial. Atuando como papel fundamental na dissipação da energia da precipitação e na redução da velocidade de escoamento, a vegetação herbácea e a manta orgânica recobrem o solo florestal, contribuindo também para a atenuação dos processos erosivos (LIMA, 2008).

Considerando que a cobertura vegetal protege os agregados do impacto direto das gotas de chuva e é responsável pelo aumento da macroporosidade da camada superficial, logo, é capaz de diminuir consideravelmente as perdas de água do solo e manter altas taxas de infiltração. Desta forma, pesquisadores tem acentuado a necessidade de praticar manutenção da cobertura vegetal para conservação do solo. Visto que, em relação aqueles protegidos por palhas, os solos

descobertos apontam reduções da taxa de infiltração de até 85% (DULEY, 1939; BERTOL et al., 1989; FARIA et al., 1998, SILVA et al., 2001; COGO et al., 2003).

A cobertura vegetal e as formas de uso do solo, além de suas finalidades sobre as condições de infiltração da água no solo, desempenham relevante ação na interceptação da água decorrente da precipitação (PRUSKI et al. 2003). Quanto maior a porcentagem de rugosidade e cobertura vegetal da superfície do solo, menor o escoamento superficial.

Segundo Reichert et al. (2009), outra característica importante da cobertura vegetal é imposta ao sistema radicular da vegetação, pois no decorrer do crescimento das raízes formam-se canais que propiciam o movimento das águas no perfil.

2.3.*3.3 Manejo do Solo*

O solo se modifica conforme sua forma de uso, alterando também a sua porosidade e condutividade hidráulica. Estas alterações estruturais geradas pelo manejo decorrem da frequência das operações de práticas agrícolas no solo, e do efeito de compactação produzido pelo trânsito de máquinas agrícolas ou animais. Além do que, o tamanho, a morfologia e a orientação dos sistemas radiculares dos vegetais podem modificar a condutividade hidráulica (MESQUITA; MORAES, 2004).

A capacidade de infiltração de água no solo reduz com o tráfego intenso de máquinas agrícolas sobre a superfície, principalmente no uso do sistema convencional de preparo, reduzindo a capacidade de infiltração de água no solo. Além de que, solos em áreas de pastagem também sofrem intensa compactação ocasionada pelas patas dos animais sobre a superfície (PRUSKI ET AL., 2003).

Quando o solo é compactado ocorre aumento de massa por unidade de volume, ocasionando acréscimo na densidade, na microporosidade relativa e na resistência à penetração, o que auxilia na diminuição linear da porosidade total e da macroporosidade (BEUTLER et al., 2005).

Ainda, segundo Tucci (2002), com o desmatamento ocorre o aumento do escoamento superficial por meio da redução da evapotranspiração, esse aumento ainda é maior, quando ocorre a substituição da cobertura vegetal. Podem ocorrer também, impactos sobre a erosão do solo, escoamento superficial e ciclagem de nutrientes, com o corte raso da floresta e, consequente modificação do microclima local (LIMA, 2008).

Neste contexto, o encrostamento superficial pode reduzir a capacidade de infiltração e surge em solos com superfície desprotegida e intensamente cultivados. Todavia, em solos com floresta e cobertura vegetal a capacidade de infiltração é maior, devido ao aumento da macroporosidade da camada superficial, protegendo os agregados do impacto direto das gostas da chuva, aumentando a condutividade hidráulica do solo e reduzindo assim, o encrostamento superficial (TUCCI; CLARKE, 1997).

2.3.*3.4 Características da Água*

A condutividade hidráulica do solo se destaca entre as variáveis que influenciam no fluxo de água, sendo um parâmetro que representa a facilidade com que o solo transmite água. O valor máximo de condutividade hidráulica é alcançado quando o solo se encontra saturado, e é denominado de condutividade hidráulica saturada. Os processos de infiltração de água no solo, projetos de irrigação e drenagem, perdas de fertilizantes e de solo por erosão e de substâncias químicas por lixiviação geralmente estão relacionados ao fluxo de água, o qual influencia todo o processo de utilização dos recursos solo e água (REICHARDT, 1990).

Conforme pesquisa feita por Minosso et al. (2017) a umidade do solo é um fator determinante da capacidade de infiltração de água no solo, (quanto maior a umidade, menor será a infiltração). Já a densidade do solo é afetada pela estrutura, grau de compactação e pelas características de contração e expansão do solo que, por sua vez, são controladas pela umidade (KLAR, 1984; DIAS JUNIOR et al., 1997). Quanto mais estruturado e maior o teor de matéria orgânica do solo, menor será sua densidade. Em solos expansivos (argilosos), a densidade varia com o conteúdo de água (OLIVEIRA, 2005).

A curva de retenção de água sofre mudanças na sua forma devido à redução na macroporosidade e no valor da inclinação da curva de retenção de água no seu ponto de inflexão, devido ao aumento da densidade do solo (DEXTER, 2004; CARDUCCI et al 2011).

A densidade elevada do solo em áreas de plantio, estão relacionados a arquitetura do sistema radicular, ao tempo de utilização da área, trânsito de máquinas e implementos agrícolas, pouca cobertura do solo durante o período inicial de crescimento das plantas e condições de umidade do solo (COSTA et al., 2003).

Os solos mais compactados apontam maior resistência à penetração em função da maior confinidade entre as partículas, o que atribui consequentemente, menor índice de vazios e maiores densidades do solo (MARASCA et al., 2011).

Assis et al. (2009) afirma em seu estudo, que a diminuição da resistência do solo em função do menor conteúdo de água no solo, se deve ao fato de que o aumento no teor de água do solo decresce a atuação das forças de coesão entre as partículas do solo e o atrito interno, provocando, então, a diminuição na resistência mecânica do solo.

2.4 Caracterização ambiental do município de Pato Branco/PR

O município de Pato Branco foi instituído em 14 de dezembro de 1952 e compreendia os municípios atualmente designados de Itapejara do Oeste, Verê, Dois Vizinhos, Mariópolis, Bom Sucesso do Sul e parte de Renascença, crescendo no sentido norte-sul acompanhando a vertente do Rio Ligeiro e seus Afluentes (KRÜGER, 2004).

A cidade de Pato Branco encontra-se localizada no sudoeste do estado do Paraná, na região Sul do Brasil. Segundo levantamento populacional realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), a população da cidade para o final de 2020 estimava-se um total de 83.843 habitantes. Atualmente, dessa população total, 68.091 pessoas residem na região urbana e 4.279 pessoas na área rural. O município possui uma área de 539,087 km², compreendendo 45 bairros na sua área urbana (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2019). O presente relevo apresenta uma topografia acentuada, estando a 800 metros acima do nível do mar (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2019).

Alves (2021) em seu estudo, destaca o crescimento urbanístico do município de mais de 8,91% entre 2006 e 2016, com aumento de 5.170 Km². Pois em curto período, a malha urbana ocupou espaços que eram constituídos por áreas verdes. Sendo observado que enquanto a cidade expande, as áreas verdes tendem a ser cada vez menores, dando espaço a novos loteamentos urbanos. Ainda cita que na região sul da cidade a ocupação é mais densa, e na região norte novos loteamentos surgem resultantes dos investimentos imobiliários.

Na década de 70 o Rio Ligeiro abastecia as casas patobranquenses. Na atualidade sofre problemas ambientais pela falta de planejamento e manejo da bacia

hidrográfica, e pela não consideração das condicionantes geológicas na utilização de seu espaço territorial fazendo com que os efeitos da degradação ambiental sejam constatados em diversas áreas do município. Atualmente o abastecimento atual de água do município é obtido através do Rio Pato Branco a uma distância de 14 km (quatorze quilômetros), afluente superior do Rio Chopim, pois uso do rio Ligeiro é para autodepuração de esgotos domésticos e industriais (JABUR, 2010).

Ainda, conforme Jabur (2010) o aumento das áreas urbanizadas refletiu diretamente nas elevações das vazões de pico, elevou-se de 59,76 m³/s em 1980 para 72,13 m³/s para 2008. O autor destaca ainda que estas vazões de pico foram observadas em 27 de setembro de 2009, onde uma enchente ocorreu na cidade. Esta enchente provocou estragos na parte central da cidade e na baixada sul, pontos baixos de altitude na bacia hidrográfica. O rio canalizado não suportou a quantidade de escoamento superficial e transbordou, acarretando em prejuízos econômicos e sociais na cidade.

A figura 5 apresenta informações resumidas sobre mudanças no nível de urbanização e taxas de crescimento ao longo do período.

Figura 5 – Crescimento da população e urbanização de Pato Branco

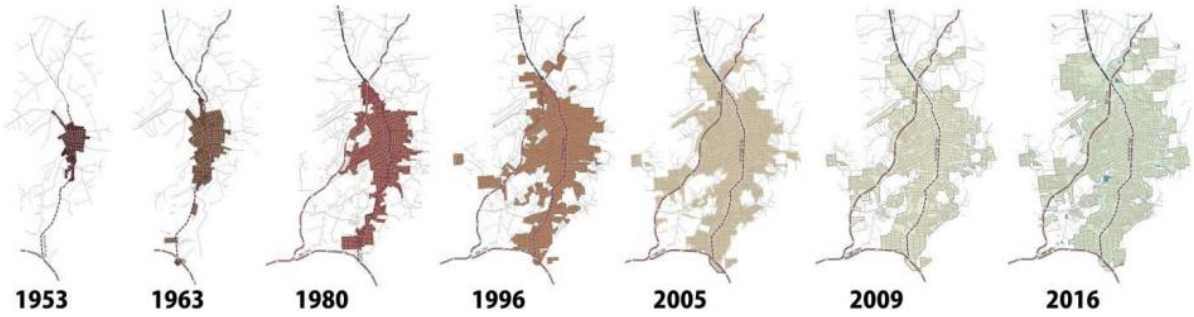
A População e a Urbanização no município de Pato Branco				
Ano	**População Total (hab)**	**População Urbana (hab)**	**População Rural (hab)**	**Índice de Urbanização (%)**
1960	51.581	10.333	41.248	20,03
1970	33.404	15.420	17.984	46,16
1980	**45.937**	**31.470**	**14.467**	**68,51**
1991	55.675	43.406	12.269	77,96
2000	62.234	56.805	5.429	91,28
2010	72.370	68.091	4.279	94,09
2016*	79.869			

Fonte: IBGE, Censo Demográfico 1960,1970, 1980,1991, 2000, 2010, 216, apud Kunen et al. (2022).

Na década de 1990 com o setor de saúde expandindo-se e também a área educacional com a chegada do Centro Federal de Educação Tecnológica (CEFET), atualmente Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), esses setores trouxeram à cidade um crescimento urbano desordenado. A história e dinâmica do município de 1950 a 2016 evidenciam um acentuado crescimento populacional juntamente com um aumento da ocupação do solo, por meio de novos loteamentos

e suas construções. A Figura 6 evidencia o crescimento ocorrido ao longo das décadas no município de Pato Branco (KUNEN et al., 2022).

Figura 6 – Evolução temporal da malha urbana do município de Pato Branco



Fonte: Kunen et al. (2022).

Até o início do século passado, a cobertura florestal no Estado do Paraná correspondia a 83,41% de seu território. Em relação à vegetação, divididas em áreas florestais densas e áreas florestais esparsas, ambas apresentam uma pequena parcela da bacia hidrográfica. Em 1980, a bacia apresentava 8,7 km2 de áreas florestais densas com (12%) e 3,6 km 2 de áreas florestais esparsas (5,27%), já em 2008, a área de reduziu para 7,54 km2, para 11% do total da bacia. Os locais de áreas florestais esparsas em 2008 cresceram para 4,58 km2 (6,7%) que acentua a redução das áreas florestais densas para de áreas florestais esparsas (JABUR, 2010).

2.5 Instrumentos legais para o planejamento urbano do município

A reforma urbana municipal foi debatida através da elaboração das Leis Orgânicas e implementação da política pública por meio do conjunto de instrumentos que se dividem em: Plano Diretor; Uso Ocupação e Parcelamento do Solo e Zoneamento do Solo. No Município de Pato Branco, a Lei Orgânica foi estabelecida em 1990 com alterações entre 1993 e 2016, e total de 21 emendas. Em 1990 foi aprovada a primeira lei municipal que dispunha de desenvolvimento urbano no município, Lei n. 997/1990 (KUNEN et al., 2022).

O Plano Diretor nesse sentido, surge com a função de normatizar e padronizar o crescimento da cidade, e é através dele que se apresentam medidas e diretrizes governamentais para o desenvolvimento e fiscalização do proposto.

A Lei Federal 10.257/2001 que deu origem ao Estatuto das Cidades é a regulamentação dos artigos 182 e 183 da Constituição Federal e estabelece

parâmetros e diretrizes da política e gestão urbana no Brasil. O Plano Diretor está definido no Estatuto das Cidades, em linhas gerais, como instrumento básico para orientar a política de desenvolvimento e de ordenamento da expansão urbana dos municípios (KUNEN et al., 2022).

O Plano Diretor de Pato Branco foi aprovado pela Lei n.º 997 em 1990, e a partir da presente Lei, entre os anos de 2005 e 2008, foram realizadas audiências públicas com envolvimento da população, da Câmara dos Vereadores e do Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Pato Branco (IPPUPB), a fim de rever as diretrizes do Plano Diretor, onde então, foi criada a Lei Complementar n.° 28, de 27 de junho de 2008, sendo essa o atual Plano Diretor do município (ALVES, 2021). Ainda, conforme Kunen et al., (2022) o Plano Diretor passou por quatro alterações entre 2010 e 2013, não existindo mais modificações desde então. As primeiras audiências públicas para revisão do mesmo, foram realizadas em 05 e 07 de dezembro de 2017.

Pato Branco atualmente é um polo universitário, tecnológico e econômico, onde o setor imobiliário cresce a cada dia com construção de novos loteamentos. Por tal, novas habitações expandem a malha urbana e configuram um novo espaço urbano.

E neste sentido, surge a Lei Complementar Municipal n.º 46, de 26 de maio de 2011, conhecida como a Lei de Uso, Ocupação e Parcelamento do Solo (LUPA), em adequação a Lei Complementar ao Plano Diretor do ano de 2008, a fim de regulamentar e complementar as diretrizes (ALVES, 2021).

Das leis que versam sobre o Uso, Ocupação e Parcelamento do Solo Urbano, o município apresentou vinte e quatro leis que regram sobre loteamentos e parcelamento (KUNEN et al., 2022). A seguir pode-se tomar conhecimento destas leis por meio da figura 7.

Figura 7 – Histórico das alterações da lei de uso ocupação e parcelamento do solo do município de Pato Branco

Leis Urbanas Municipais - Uso Ocupação e Parcelamento do Solo		
Ano	**Lei**	**Conteúdo**
1954	Lei n. 63	Autoriza a abrir um crédito especial ao Poder Executivo para atender as despesas decorrentes com os serviços de medição e loteamento do quadro urbano e suburbano.
1955	Lei n. 76	Autoriza o Poder Executivo a receber contribuições para os serviços de loteamento, nivelamento e elaboração da planta da usina hidroelétrica.

1955	Lei n. 77	Abre concorrência pública para a execução dos serviços topográficos, loteamento, nivelamento e cadastro do quadro urbano e suburbano da sede, constantes do Patrimônio do Município.
1966	Lei n. 18	Concede isenção de impostos municipais a Vva.Carmela Bortot, do lote quatro da quadra oito da cidade de Pato Branco, e a parte da chácara de sua propriedade também do quadro sub-urbano da cidade de Pato Branco isto as partes que são ocupadas pelas suas habitações, pelo prazo de 8 (oito) anos, como permuta pelos lotes n. 3 a 16 da quadra 1 (um) do loteamento Bortot, autorizada a doação dos lotes 3 a 16 da quadra um do loteamento Bortot ao DEOE, Departamento de Edificações de Obras Especiais, autoriza o Poder Executivo Municipal escriturar a terceiros os lotes n. 1, 2, 3, 14 e 15 e 16 da quadra 4 (quatro) do loteamento Bortot.
1968	Lei n. 13	Autoriza o Poder Executivo Municipal adquirir da Firma Ind. Com. Cruzeiro Ltda., uma área de terras de 1.711,35m 2 , correspondendo a parte do lote n. 5 da quadra 193 e parte da chácara n. 259, para fins de abertura da Rua Tapir, ligando o quadro urbano ao loteamento bancários.
1968	Lei n. 14	Autoriza compra dos lotes n. 7, 8, 14, 15, quadra 9 do loteamento Bairro Bortot.
1969	Lei n. 20	Dispõe sobre loteamento.
1971	Lei n. 65	Anexa ao quadro urbano de Pato Branco a área que especifica.
1972	Lei n. 99	Isenta do pagamento de IPTU os loteamentos distanciados do perímetro urbano da cidade.
1978	Lei n. 331	Dispõe sobre loteamento.
1979	Lei n. 352	Dá o nome de Bairro São Cristóvão ao loteamento Encruzilhada de Pato Branco.
1985	Lei n. 647	Altera a redação do § 1º do artigo 29 da Lei Municipal n. 331/1978 e acrescenta mais um parágrafo ao mesmo artigo.
1989	Lei n. 870	Autoriza o Executivo Municipal a dar em comodato, o lote n. 20, da quadra n. 14, do Loteamento Alvorada, com área de 2.400,00m2 (dois mil e quatrocentos metros quadrados), à Mitra Diocesana de Palmas, para a utilização da Comunidade do Bairro Alvorada.
1990	Lei n. 919	Autoriza o Executivo Municipal a adquirir o lote n. 06 da quadra n. 18, com área de 581,77m2 , loteamento Cristo Rei.
1991	Lei n. 1.031	Autoriza o Executivo a adquirir o lote n. 5 da quadra n. 7 do Loteamento Encruzilhada I.
1993	Lei n. 1.268	Autoriza o Loteamento Chaparral com isenção da Reserva Municipal.
1996	Lei n. 1.501	Autoriza o Executivo receber dação em pagamento para quitação de crédito tributário, imóvel de propriedade de Nisse Borsói e doação como antecipação de futura subdivisão da chácara n. 66-A-1 (decorrente de pavimentação poliédrica, que destina-se à abertura do prolongamento da Rua Ivaí)
1997	Lei n. 1.553	Autoriza o Executivo Municipal a fornecer certidões para escrituração pública de terrenos com metragem inferior aquela estabelecida na Lei de Zoneamento.
1997	Lei n. 1.554	Estabelece normas para legalização de loteamentos clandestinos e irregulares.
1997	Lei n. 1.556	Altera dispositivos da Lei Municipal n. 331/1978.
1999	Lei n. 1.831	Autoriza o Executivo Municipal a fornecer certidões para escrituração pública de terrenos com metragem inferior aquela estabelecida na Lei de Zoneamento.
2002	LC n. 05	Parcelamento do solo para fins urbanos e rurais na forma de loteamentos especiais ou condomínios horizontais.
2002	Lei n. 2.189	Altera a lei municipal n. 331/1978, sobre loteamentos.
2003	LC n. 10	Dispõe sobre o uso e ocupação do solo, na modalidade de Condomínios Horizontais ou Condomínios Fechados, na forma em que especifica.
2003	Lei n. 2.291	Autoriza o Executivo Municipal a fornecer documentação pública para desmembramento de imóveis que possuam mais de uma unidade edificada no mesmo terreno.
2005	Lei n. 2.481	Revoga o artigo 53-A da Lei n. 331/1978, sobre loteamentos.
2007	Lei n. 2.728	Altera a redação do artigo 29 da Lei n. 331/1978, sobre loteamentos.
2008	Lei n. 3.057	Modifica o Parágrafo único do art. 53-B da Lei n. 331/1978, sobre Loteamento, alterado pela Lei n. 2.189/2002.

2010	Lei n. 3.392	Regularização fundiária de loteamentos ou desmembramentos irregulares no município.
2011	LC n. 46	Regulamenta o Uso, Ocupação e Parcelamento do Solo do Município, em adequação a Lei complementar n. 28/2008 do Plano Diretor.
2011	Lei n. 3.701	Autoriza o Executivo Municipal permutar imóveis.
2013	Lei n. 4.198	Autoriza o Executivo Municipal a isentar do recolhimento dos tributos municipais ITBI – Imposto Sobre Transmissão de Bens Imóveis, e, IPTU – Imposto Predial e Territorial Urbano os beneficiários do Programa Minha Casa Minha Vida do Loteamento São Pedro.
2016	LC n. 67	Altera disposições da Lei complementar n. 46, que regulamenta o Uso, Ocupação e Parcelamento do Solo no Município.

Fonte: Kunen et al. (2022).

Comparado ao desenvolvimento urbanístico que vem ocorrendo no município são poucas as políticas públicas presentes no Plano Diretor do ano 2008, ou que visam à preservação de suas bacias hidrográficas. No entanto, apesar de constar leis relacionadas à preservação de zonas especiais, ainda é possível observar construções de novas edificações que não respeitam os limites presentes na legislação, sendo que a legislação vigente não tem condições de atender a atual demanda da ocupação do solo no município e a sua viabilização na gestão do espaço urbano (PATO BRANCO, 2020 apud KUNEN et al., 2022).

Conforme Kunen et al., (2022) a ausência da adoção de critérios estabelecidos no Estatuto da Cidade e do Plano Diretor, houve um descompasso entre oferta e demanda no que se refere aos lotes urbanos. Em decorrência disso a cidade apresentou expansão urbana desnecessária. Situações como esta dificultam o cumprimento das diretrizes estabelecidas.

3.0 METODOLOGIA

Neste capítulo é apresentada a metodologia utilizada para avaliação da capacidade de infiltração nos diferentes tipos de solo sob a condutividade hidráulica e a variação de alguns parâmetros físicos do solo (densidade, porosidade, umidade e resistência do solo). Esta avaliação foi dividida em três etapas: ensaios de campo, ensaios de laboratório e interpretação dos dados. Para realização dos ensaios foram adotados três campos experimentais em áreas de novos loteamentos urbanos que apresentem diferentes tipos de usos do solo (agricultura, pastagem e floresta), e retiradas às amostras para a determinação das propriedades físicas do solo por meio de ensaios laboratoriais. Para análise da infiltração do solo foram utilizados relatórios existentes obtidos através dos ensaios de percolação do solo, os quais foram realizados de acordo com a NBR 7.229/93 e seu anexo, NBR 13.969/97.

3.1 Classificação da pesquisa

Está pesquisa trata-se de uma pesquisa descritiva, exploratória e bibliográfica, uma vez que pretende identificar a eficiência de diferentes tipos de uso do solo na capacidade de infiltração e condutividade hidráulica. Ainda, este estudo pode ser definido como experimental, visto que procura caracterizar a influência das condições físicas do solo nos diferentes tipos de uso do solo da região estudada na taxa de infiltração.

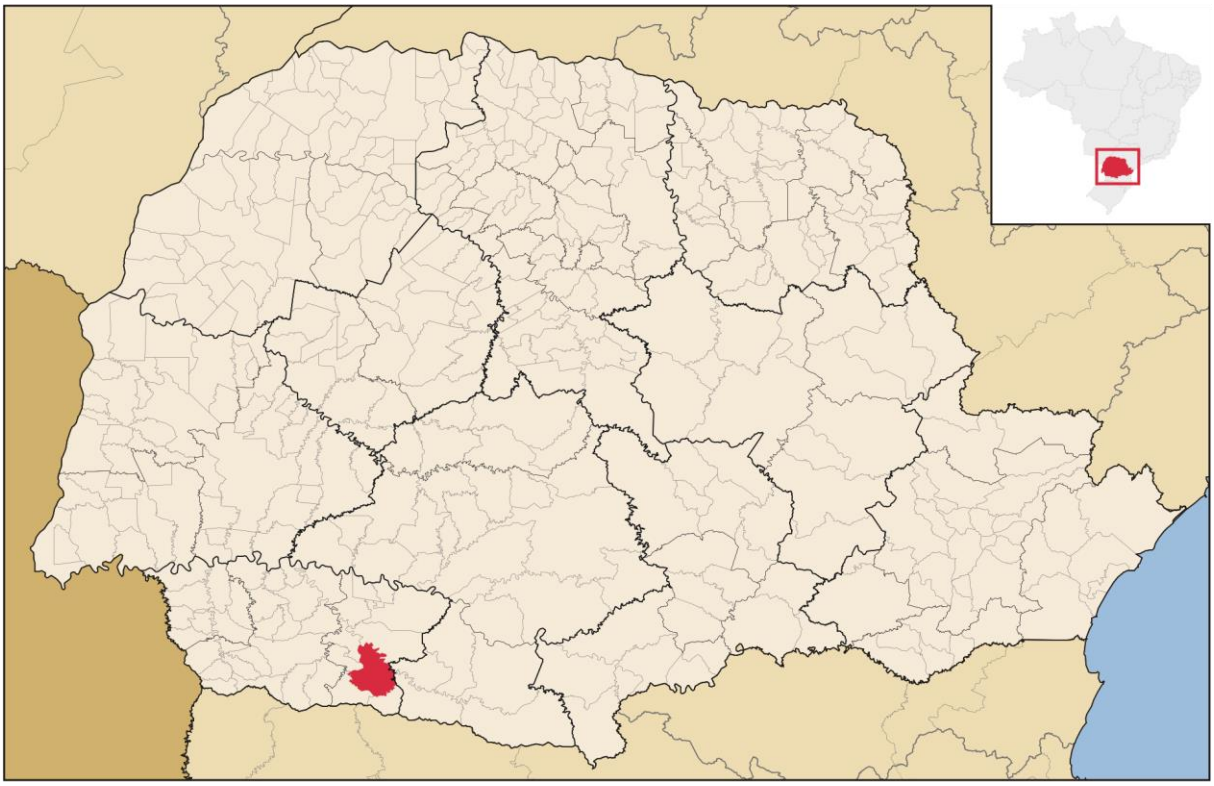
3.2 Localização da área de estudos

O campo experimental escolhido para o estudo está localizado na cidade de Pato Branco (figura 8), localizada na região sudoeste do Estado do Paraná, com área total de 539,087 km², grau de urbanização de 94,09%. Cujo marco zero da cidade localiza-se na latitude 26°13’, 46” S, longitude 52º40’, 14” W, formada por uma região de altitude média de 760 metros com declividade acentuadas em determinados locais. A área de estudos está inserida no Terceiro Planalto do Paraná, pertencente ao plano de declive do planalto basáltico de Santa Catarina e situando-se a nível nacional nos planaltos e chapadas da Bacia do Paraná com formação de rochas cristalinas, e solos caracterizados como argiloso. O perímetro

urbano situa-se ao longo da bacia do Rio Ligeiro, tendo as elevações tanto para Oeste, como para Leste, relativamente acentuadas (PATO BRANCO, 2022).

O clima do município é subtropical úmido, com chuvas bem distribuídas ao longo de todo ano. A média anual de chuva é 1500 mm, e temperatura média no mês mais frio inferior a 18 ºC (mesotérmico), e temperatura média no mês mais quente acima de 22 ºC (INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ, 2000).

Figura 8 – Localização do Estado do Paraná no Brasil e do município de Pato Branco no mapa do Paraná

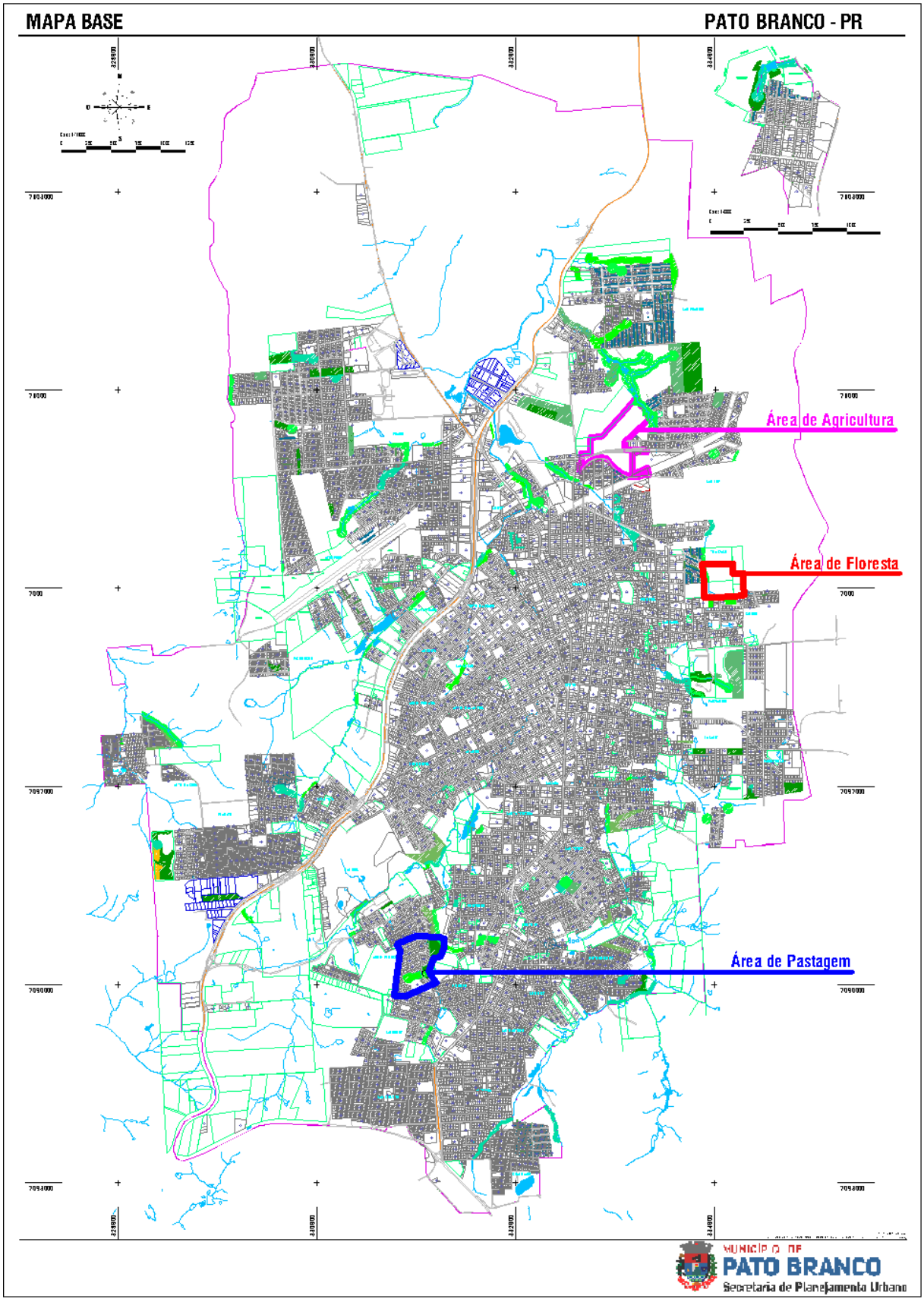


Fonte: Wikimedia Commons, (2006).

3.2.1 Áreas experimentais

Foram selecionadas três áreas para implantação deste estudo, nas zonas de expansão do município (figura 9), em locais de novos loteamentos urbanos que apresentem diferentes tipos de usos do solo: agricultura, pastagem e floresta (figura 10), localizados respectivamente na região Norte, Sul e Leste de Pato Branco/PR.

Figura 9 – Localização das áreas de pesquisa no Mapa Base de Pato Branco



Fonte: Adaptado de Pato Branco, (2022).

Figura 10 – Áreas experimentais de agricultura (A), pastagem (B) e floresta (C)

Fonte: Autora, (2022).

3.3 Análise da infiltração no solo

O ensaio de infiltração para determinação da capacidade de absorção do solo foi realizado conforme NBR 7229 – Projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos (ABNT, 1993) e seu anexo, NBR 13969 – Tanques sépticos - Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos - Projeto, construção e operação (ABNT, 1997).

Foram executadas covas cilíndricas de 30,00 cm de diâmetro, com até 2,00 m de profundidade. No fundo de cada uma das covas foi colocada uma camada de brita nº 1, com 5,00 cm de espessura.

Na primeira etapa do ensaio foi realizado o procedimento de saturação do solo, no qual se manteve o nível a 0,30 m acima da brita por cerca de 4 horas. Neste contexto procedeu-se o ensaio até serem obtidas pelo menos duas diferenças sucessivas de rebaixamento no tempo determinado de 30 minutos. Esta operação foi repetida por 3 vezes consecutivas, obtendo a média da queda do nível d'água em cada furo.

Foi calculada a taxa de percolação para cada furo, a partir dos valores apurados, dividindo-se o intervalo de tempo entre as determinações (30 min.) pela média do rebaixamento de cada furo.

A partir das taxas de percolação aferidos nos ensaios, foram determinados os resultados para as taxas máximas de aplicação diária que expressam a capacidade de absorção do solo.

As taxas máximas de aplicação diária foram determinadas através da equação 2 que foi gerada por regressão pelo método dos mínimos quadrados a partir dos dados tabela A.1 do Anexo A da NBR 13969 – Tanques sépticos - Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos - Projeto, construção e operação (ABNT, 1997).

$$TMD = (0{,}000107727378 + 1{,}598147081 / TP)^{½} \quad (2)$$

Sendo:

- TMD = Taxa máxima de aplicação diária (m^3/m^2 x dia);
- TP = Taxa de percolação (min/m).

O número de repetições dos ensaios foi diferente devido a área de cada campo experimental. Segundo o Anexo V do termo de referência do IAT a NBR 6484 – Solo - Sondagens de simples reconhecimento com SPT - Método de ensaio (ABNT, 2001) sugere 1 sondagem para cada 10.000 m². Os resultados devem ser interpretados sobre a possibilidade de três (03) ensaios para áreas com até um (01) ha; no mínimo, seis (06) ensaios para áreas entre um (01) ha e até cinco (05) ha. Para áreas acima de cinco (05) ha deverá ser acrescido um (01) ensaio para cada hectare a mais.

Foram executados 24 ensaios de infiltração na área experimental de agricultura, 13 ensaios na área experimental de pastagem e 6 ensaios na área experimental de floresta, seguindo o anexo V, do IAT, para a área de cada campo experimental.

Para análise e comparação dos resultados foram utilizados 6 (seis) ensaios de cada área experimental, que apresentaram menor dispersão nos dados.

3.4 Propriedades físicas do solo

3.4.1 Análise da umidade antecedente

Para o cálculo da umidade antecedente, foram utilizadas as mesmas amostras de solo coletadas para a densidade aparente do solo. Para calcular a umidade do solo, as amostras foram pesadas *(in natura),* levadas a estufa por 24 horas a uma temperatura média de 105 ºC.

Após esse período foram pesadas novamente em balança analítica e através da diferença de peso das amostras foi extraído o percentual de umidade. Sendo assim, foram abertas 9 trincheiras com profundidade de 0 a 40 cm de profundidade. As amostras foram coletadas nas seguintes profundidades; 0-5, 5-10, 10-20 20-30, 30-40 cm, totalizando 45 amostras em cada tipo de uso do solo (figura 11).

Figura 11 – Coleta das amostras de solo

Fonte: Autora, (2022).

3.4.2 Densidade Aparente do solo

Para a determinação da densidade aparente do solo foi utilizado o método do anel volumétrico, conforme manual de métodos de análise de solo da Embrapa (1997). Foram abertas 9 trincheiras com profundidade de 0 a 40 cm de profundidade. As amostras foram coletadas nas seguintes profundidades; 0-5, 5-10, 10-20 20-30, 30-40 cm, totalizando 45 amostras em cada tipo de uso do solo.

Posteriormente as amostras foram encaminhadas ao laboratório, identificadas, pesadas e levadas à estufa a 105 ºC por 24 horas. Em seguida, as amostras foram pesadas, obtendo-se o peso das amostras secas.

A densidade do solo, é a massa média de um sólido por volume. Assim, sua determinação será a razão entre o peso da amostra seca e o volume do anel, conforme equação 3.

$$D_s = \frac{M_s}{V} \quad (3)$$

Sendo:

- Ds= Densidade aparente do solo (g/cm³);
- Ms = Massa seca (g);
- V = Volume do anel (cm³).

3.4.3 Densidade Real das Partículas

Os valores da densidade real das partículas do solo foram realizados conforme manual de métodos de análise de solo da Embrapa (1997). Onde as amostras foram secas em estufa a 105 ºC por 24 horas para a retirada de umidade, destorroadas e submetidas ao método do anel volumétrico, em que se insere 20 g de solo destorroado e seco em um balão volumétrico de 50 ml, o qual é completado com álcool etílico agitando-o para eliminar as bolhas de ar, deixando em repouso por 24 horas, dentro deste tempo se houver diminuição do volume de álcool este deve ser completado e anotado. Aferido o volume de álcool gasto, pode-se obter a densidade real das partículas através da equação 4.

$$D_r \times \frac{P}{50 - V.Alcool} \quad (4)$$

Sendo:

- Dr = Densidade real das partículas (g/cm³);
- P = Peso da amostra seca (g);
- V. Álcool = Volume de álcool inserido (cm³).

3.4.4 Porosidade

Conhecidos os resultados de densidade aparente do solo e de densidade real das partículas, pode-se determinar a porosidade total da amostra de solo, utilizando-se a equação 5.

$$P_t = 100 \times \frac{Dr - Da}{Dr} \quad (5)$$

Sendo:

- Pt = Porosidade Total (g/cm³);
- Dr = Densidade real das partículas (g/cm³);
- Da = Densidade aparente do solo (g/cm³).

As amostras de solo utilizadas para análise da densidade real e aparente consequentemente da porosidade foram coletas em trincheiras seguindo o mesmo protocolo de coleta com o anel volumétrico.

3.4.5 Resistência do solo

Para avaliar a resistência do solo foi utilizado um penetrômetro de impacto (figura 12). O instrumento é equipado por uma haste com um cone na extremidade inferior, sendo que na parte superior possui um peso de curso constante (4,0 kg) para provocar a penetração da haste no solo através de impactos. O equipamento deve ser mantido na vertical para a realização das coletas e a haste deve ser cravada no solo até 60 cm de profundidade (altura da haste).

Figura 12 – Ensaio com Penetrômetro de impacto

Fonte: Autora, (2022).

Ressalta-se que a cada batida é necessário registrar a quantidade de centímetros que a haste foi cravada no solo. Ao final da coleta tem-se uma planilha com o número de batidas e a profundidade que cada batida cravou a haste no solo (STOLF, 2011). Os dados obtidos foram operacionalizados em programa computacional de manipulação de dados de modelo Stolf, versão 2013 em Excel-VBA.

Foram realizadas 10 coletas em cada área experimental. Na área experimental de agricultura foram realizadas 41 batidas, 29 batidas na área experimental de pastagem e 22 batidas na área experimental de floresta. A variação no número de batidas foi devido a resistência de cada área em estudo.

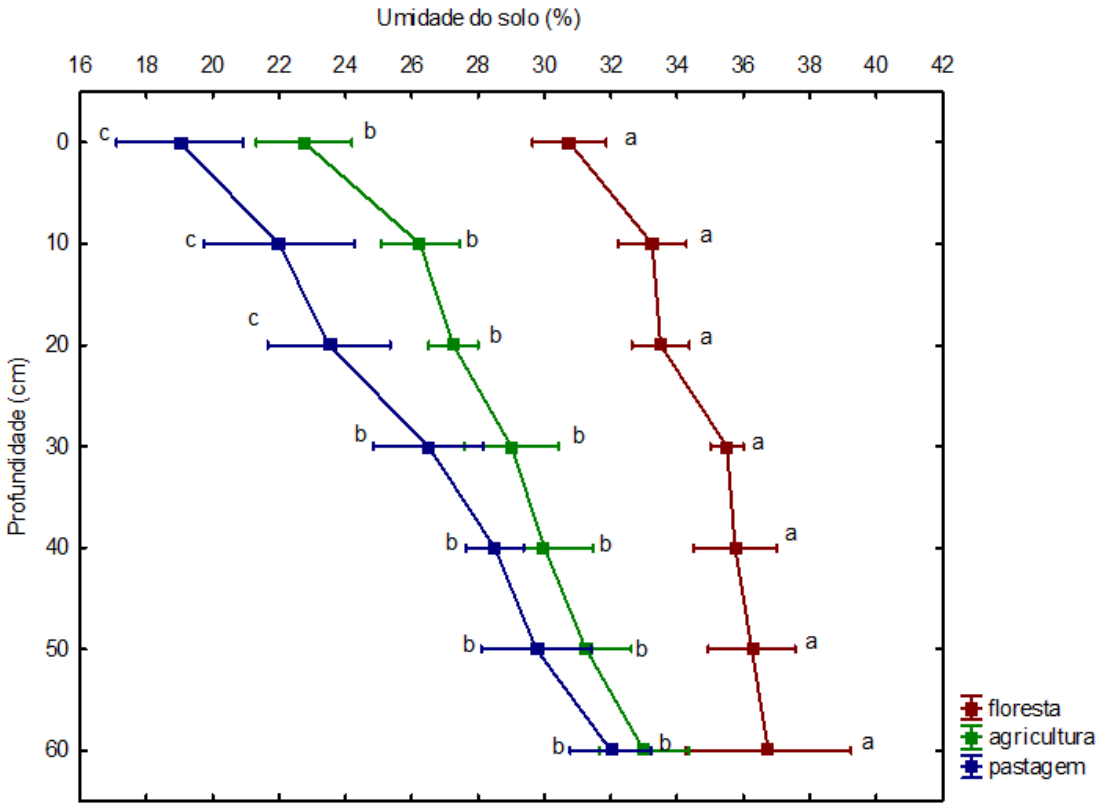
4.0 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Caracterização física do solo

As análises da influência do uso e propriedades do solo nas variáveis hidráulicas foram realizadas para os diferentes usos do solo. Os ensaios de caracterização física realizados nos solos amostrados foram os seguintes: umidade, densidade, porosidade e resistência do solo.

A figura 13 apresenta os resultados de umidade de cada uso do solo durante a amostragem. Os resultados mostram a polarização dos perfis do uso agricultura e pastagem, com variações significativas ao longo das profundidades analisadas, apresentando menor percentual de umidade nos seus usos. A pastagem apresentou umidade do solo entre 17% e 32%, já na agricultura a umidade do solo foi de 21% a 33% ao longo das profundidades avaliadas. O manejo inadequado do uso agricultura e pastagem afeta negativamente o conteúdo de matéria orgânica e a capacidade de manutenção da umidade no solo.

Figura 13 – Perfil de umidade do solo



Fonte: Autora, (2022).

Nota: os valores horizontais (mesma profundidade), seguidos de mesma letra, não diferem entre si a nível de 0,5% pelo teste de Tukey.

Percebe-se também que a umidade tende a ser maior conforme aumenta a profundidade do perfil dos usos do solo, isso porque, quando compactado ocorre aumento de massa por unidade de volume do solo, ocasionando acréscimo na densidade, na microporosidade relativa e na resistência à penetração, o que auxilia na diminuição linear da porosidade total, pois a água fica retida por mais tempo neles devido à sua lenta infiltração.

Nas camadas superficiais do solo, que apresentam menor umidade, geralmente, existe uma variação maior na densidade devido ao manejo, possibilitando formação de poros maiores e consequente aumento na condutividade hidráulica saturada.

Levando em conta que as letras ao lado de cada barra se referem aos valores horizontais, a partir dos 30 cm de profundidade os dados de agricultura e pastagens são estatisticamente iguais.

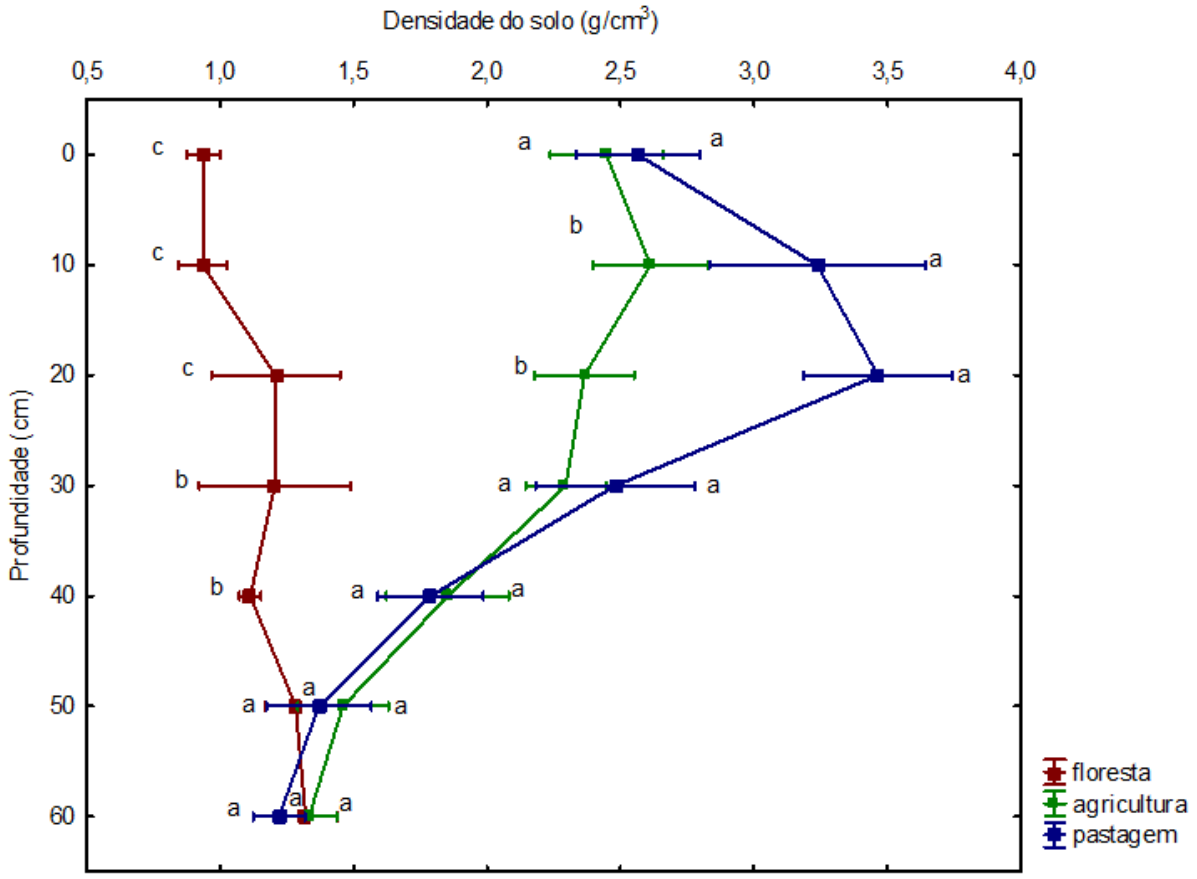
O uso floresta apresentou uniformidade, sem variações significativas ao longo do perfil avaliado, com umidade do solo entre 29% e 39%. A menor variação de umidade ao longo do período avaliado, ocorreu provavelmente em virtude das características da cobertura vegetal sobre o solo, contribuindo na retenção de água. Já nos casos de uso de agricultura e pastagem, a variação de umidade do solo pode ser atenuada com coberturas vegetais mais bem manejadas.

Os solos em estudo também possuem teor de umidade elevado, devido ao alto teor de argila na sua composição, que faz com que eles retenham a umidade.

A umidade do solo é um fator determinante da capacidade de infiltração de água no solo, quanto maior a umidade, menor será a infiltração. Já a densidade do solo é afetada pela estrutura, grau de compactação e pelas características de contração e expansão do solo que, por sua vez, são controladas pela umidade.

Sendo assim, em relação a densidade do solo as áreas de agricultura e pastagem demonstram mudanças nas propriedades físicas do solo. Conforme figura 14, percebeu-se uma menor densidade no uso floresta, em comparação aos outros dois usos. Essa menor densidade está influenciando na diferença da macroporosidade e condutividade hidráulica do solo.

Figura 14 – Densidade do solo



Fonte: Autora, (2022).

Nota: os valores horizontais (mesma profundidade), seguidos de mesma letra, não diferem entre si a nível de 0,5% pelo teste de Tukey.

Através da figura 14 pode-se observar que na superfície a densidade é igual para agricultura e pastagem. A densidade do solo na agricultura variou de 1,30 g/cm³ a 2,6 g/cm³, na área de pastagem foi de 1,00 g/cm³ a 3,80 g/cm³, sendo que os resultados mostram a polarização dos perfis desses solos. De 10 cm a 20 cm se diferenciam e nas próximas camadas voltam a ser iguais.

A densidade elevada nesses usos do solo está relacionada ao uso da área, ao trânsito de máquinas e implementos agrícolas, pouca cobertura e ao baixo teor de umidade do solo. Tendo em vista, que em solos mais compactados existe maior confinidade entre as partículas, sendo mais resistentes a penetração, contribuindo para o menor índice de vazios e maior densidade do solo.

A floresta indica valores similares em todo o perfil, sendo de 0,80 g/cm³ a 1,50 g/cm³. Isso se explica pelo fato de que quanto mais estruturado e maior o teor de matéria orgânica do solo, menor será sua densidade.

A partir dos 50 cm de profundidade, a densidade para os diversos usos do solo são similares e não apresentam variação estatística a nível de 5% pelo teste de Tukey.

Os dados das características físicas do solo encontrados por Santos (2016) indicaram correlação com os valores encontrados nesta pesquisa. A densidade média do solo na agricultura foi de 1,34 g/cm³. Na área de pastagem a densidade do solo foi de 1,41 g/cm³. Já nas áreas de floresta a densidade média foi de 1,01 g/cm³.

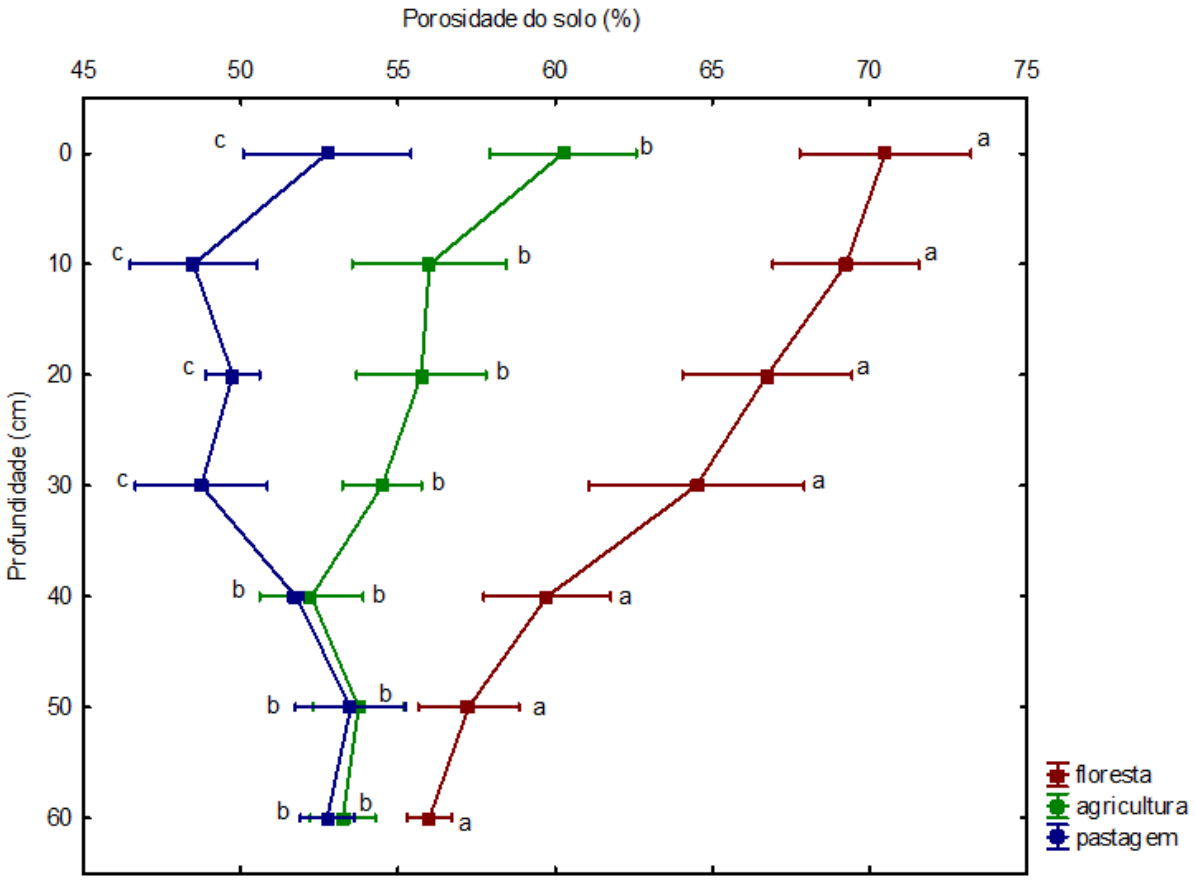
Dexter (2004) e Carducci et al. (2011) explicam ainda, que devido ao aumento da densidade do solo a curva de retenção de água sofre mudanças na sua forma devido à redução na macroporosidade, com consequente suavização na inclinação das curvas de retenção de água.

Percebe-se também que a densidade tende a ser menor conforme aumenta a profundidade do perfil dos solos nas áreas de agricultura e pastagem, sendo inversamente proporcional a umidade, ou seja, quanto maior a quantidade de água, menor a densidade do solo. Essa menor densidade está influenciando na diferença da macroporosidade e condutividade hidráulica do solo, pois nas camadas inicias do solo devido ao manejo, existe uma formação de poros maiores, que apresentam menor umidade, possibilitando variação maior na densidade.

Sendo assim, este estudo corrobora com os encontrados por Dexter (2004) e Carducci et al. (2011), pois ocorreu relação entre a densidade e a macroporosidade na camada superficial analisada, e explica a variação na taxa de infiltração nos usos pastagem e agricultura.

A porosidade apresenta têndencia lienar em relação crescente com a condutividade hidráulica, pois quanto maior a quantidade de poros, maior a condutividade na camada superficial do solo, sendo assim, a figura 15 apresenta a porosidade do solo para os três usos. Apresentando maior porosidade no uso floresta e nas camadas iniciais do solo, em seguida no uso agricultura e com menor porosidade no uso pastagem. O que pode ser explicado pelo fato de o solo com cultivo receber maior manejo, possibilitando formação de poros maiores e consequente aumento na condutividade hidráulica saturada. Já a cobertura vegetal no uso floresta protege os agregados do impacto direto das gotas de chuva e é responsável pelo aumento da porosidade da camada superficial, logo, é capaz de diminuir consideravelmente as perdas de água do solo e manter altas taxas de infiltração.

Figura 15 – Porosidade do solo



Fonte: Autora, (2022).
Nota: os valores horizontais (mesma profundidade), seguidos de mesma letra, não diferem entre si a nível de 0,5% pelo teste de Tukey.

Solos de textura arenosa apresentam maior número de macroporos associados que os solos argilosos, porém os solos argilosos disponham mais porosidade. O que é significativo para a permeabilidade de água no solo, bem como para a eficácia da taxa de infiltração de água nos usos do solo, visto que quanto mais poroso for o solo, maior será o índice de vazios, por conseguinte, mais permeável.

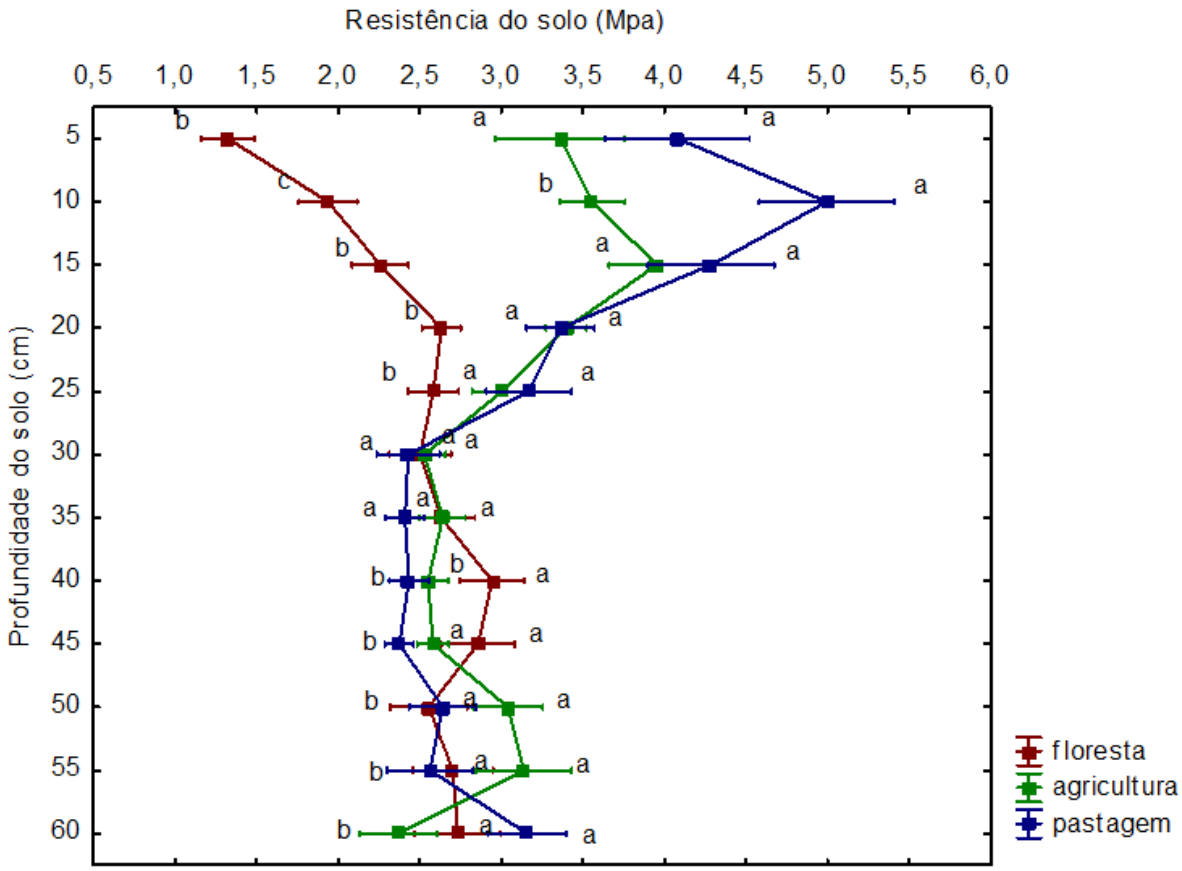
Os solos mais compactados apontam maior resistência à penetração em função da maior confinidade entre as partículas, sendo assim, a figura 16 apresenta a resistência do solo em decorrência dos seus distintos usos.

Assis et al. (2009) afirma que a diminuição da resistência do solo em função do menor conteúdo de água no solo, se deve ao fato de que o aumento no teor de água do solo decresce a atuação das forças de coesão entre as partículas do solo e o atrito interno, provocando, então, a diminuição na resistência mecânica do solo.

Logo, o uso floresta apresentou menor resistência superficial, até os 25cm de profundidade, em relação ao demais, tendo em vista que a cobertura vegetal e o

sistema radicular da vegetação propiciam o movimento das águas no perfil, os quais decresce a atuação das forças de coesão entre as partículas do solo, consequentemente sua resistência.

Figura 16 – Resistência do solo



Fonte: Autora, (2022).
Nota: os valores horizontais (mesma profundidade), seguidos de mesma letra, não diferem entre si a nível de 0,5% pelo teste de Tukey.

Os usos pastagem e por conseguinte o uso agricultura apresentaram respectivamente as maiores resistências em relação a floresta, até os 25cm de profundidade, porque exibem maior coesão entre as partículas do solo e seu atrito interno, pelo fator compactação e manejo dos seus usos, pelo tráfego intenso de máquinas agrícolas.

A pastagem também sofre intensa compactação ocasionada pelas patas dos animais sobre a superfície. Quando o solo é compactado ocorre aumento de massa por unidade de volume, ocasionando acréscimo na resistência à penetração.

Dos 30cm aos 60cm de profundidade os solos apresentam resistência com pouca variação e similar, explicada pelo fator condutividade hidráulica, devido à

redução na macroporosidade, com consequente suavização na inclinação das curvas de retenção de água.

4.2 Capacidade de infiltração do solo

A partir da taxa de percolação aferido nos ensaios (tabela 2), foram obtidos os resultados para as taxas máximas de aplicação diária (tabela 3), que expressam a capacidade de infiltração dos diferentes usos do solo.

Tabela 2 – Taxa de percolação nos diversos usos do solo

Ensaio	Taxa de Percolação (min/m)		
	Floresta	**Pastagem**	**Agricultura**
1	308,70	500,00	1000,00
2	281,50	400,00	750,00
3	266,70	250,00	750,00
4	253,89	250,00	750,00
5	119,97	200,00	600,00
6	118,34	166,67	500,00
Média	**224,85**	**294,45**	**725,00**

Fonte: Adaptado de Santos e Wolff, (2022).

Tabela 3 – Taxa máxima de aplicação diária nos diversos usos do solo

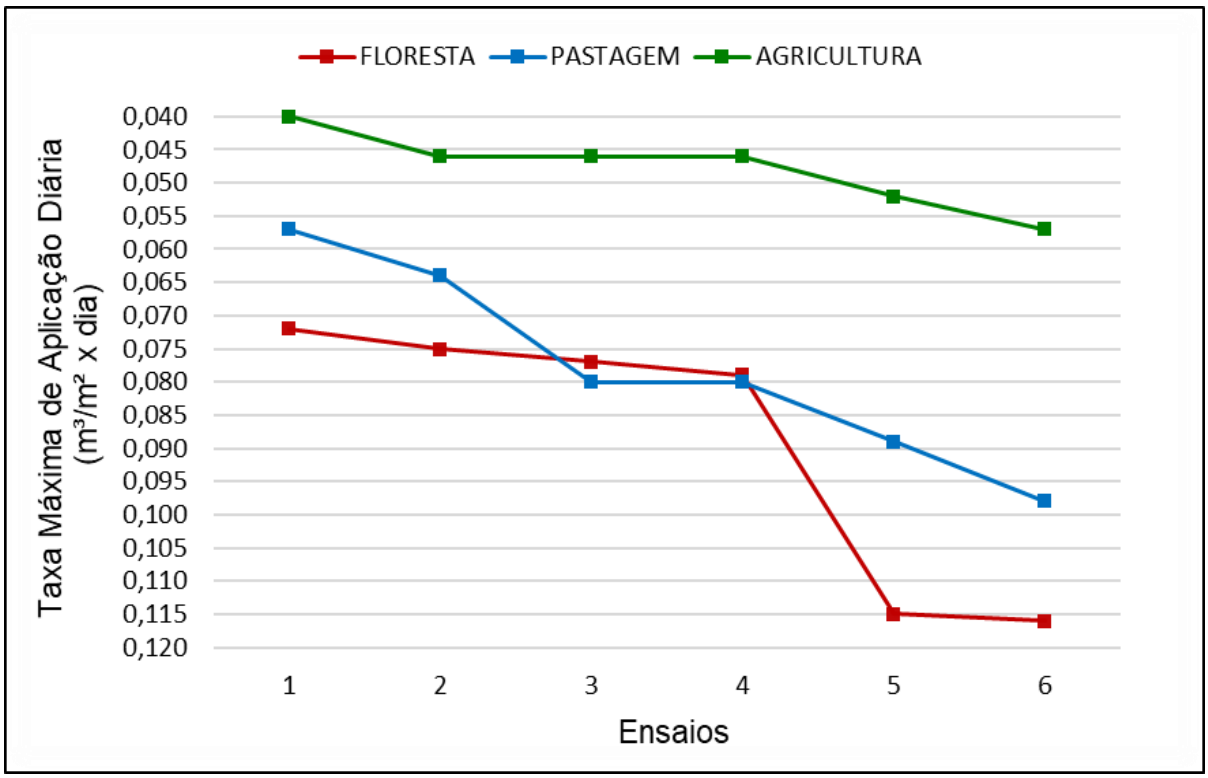
Ensaio	Taxa Máxima de Aplicação Diária (m^3/m^2 x dia)		
	Floresta	**Pastagem**	**Agricultura**
1	0,072	0,057	0,040
2	0,075	0,064	0,046
3	0,077	0,080	0,046
4	0,079	0,080	0,046
5	0,115	0,089	0,052
6	0,116	0,098	0,057
Média	**0,089**	**0,078**	**0,048**

Fonte: Adaptado de Santos e Wolff, (2022).

Analisando as taxas máximas de aplicação diária de infiltração dos diferentes usos do solo, determinadas através dos ensaios realizados, constata-se que os solos possuem caráter filtrante, com taxa de infiltração acima de 0,002 m^3/m^2 x dia

(figura 17), conforme condição esperada em solos argilosos, de acordo a Botelho (1998) apud Tomaz (2010).

Figura 17 – Taxa máxima de aplicação diária da água para cada uso do solo



Fonte: Autora, (2022).

Comparando-se as áreas de floresta e pastagem, observou-se que a taxa máxima de aplicação diária entre elas foi significativamente superior a área de agricultura com taxa média de 0,089 m³/m²xdia e 0,078 m³/m²xdia respectivamente, obtendo-se uma redução de apenas 14% na taxa máxima de aplicação diária da água do uso pastagem em comparação ao uso floresta. Essa diferença é decorrente da presença de vegetação natural mais densa, com sistema radicular vigoroso os quais melhoram a estrutura dos solos floresta e pastagem, além de aumentarem o aporte de matéria orgânica e a estabilidade dos agregados (AVILA, 2014).

Na área de agricultura observou-se que a taxa máxima de aplicação diária é menor em comparação aos demais usos do solo, com taxa média de 0,048 m³/m²xdia, obtendo-se uma redução de 86% na taxa máxima de aplicação diária da água do uso agricultura em comparação ao uso floresta, pelo adensamento da camada superficial pela atividade de plantio (MINOSSO et al. 2017), conforme comprovado nos ensaios de caracterização física do solo.

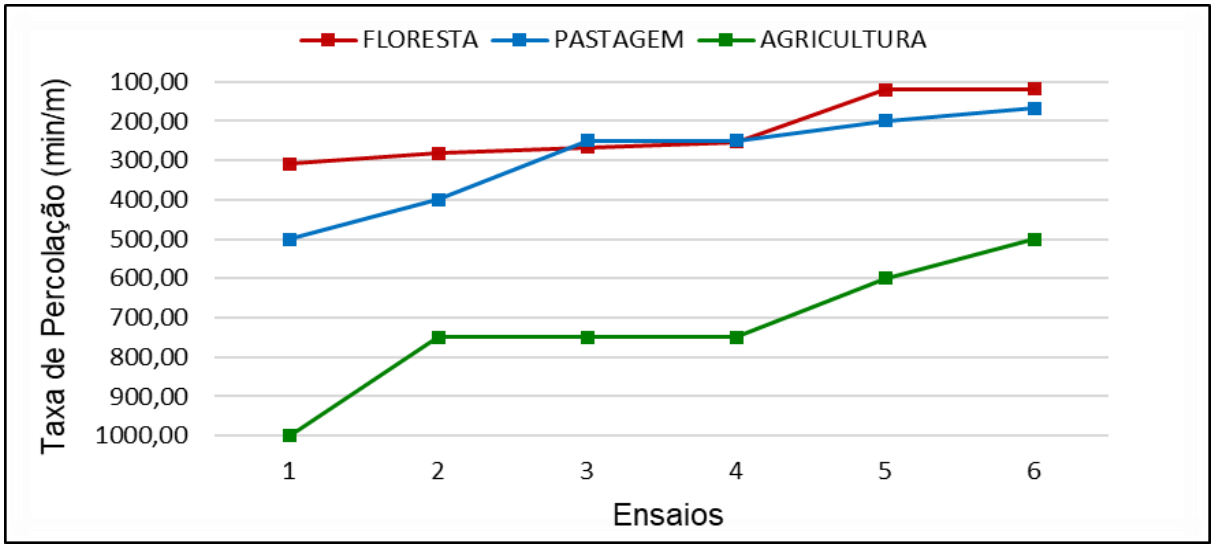
Na figura 18 estão os resultados obtidos da infiltração em cada uso do solo. A taxa de infiltração apresentou-se com grande variação nos usos pastagem e

agricultura, com média de 294,45 min/m no uso pastagem e 725,00 min/m no uso agricultura, este, com menor capacidade de infiltração. Já o uso floresta apresentou maior taxa de percolação com média de 224,85 min/m, sendo observada menor dispersão da taxa de infiltração.

Essa dispersão apresentada nos usos pastagem e agricultura pode ser explicada pelo fator posição no perfil do terreno na capacidade de infiltração em função dos processos de erosão e deposição de cada uso do solo, que não foram analisadas nesta pesquisa. As variáveis do solo se alteram de acordo com o relevo, sendo assim, a relação observada em um local pode não ser aplicada a outros locais. Tendo em vista que as áreas de estudo, especificamente a cidade de Pato Branco/PR, é formada por uma região de altitude média de 760 metros com declividade acentuadas em determinados locais, considera-se que este fator não mensurado, pode também, ter gerado alteração nos dados obtidos.

Ainda, a dispersão apresentada nos usos pastagem e agricultura foi constatada também pela diferença da porosidade e condutividade hidráulica do solo, que devido ao aumento da densidade do solo a curva de retenção de água sofre mudanças na sua forma, com consequente suavização na inclinação das curvas de retenção de água.

Figura 18 – Taxa de percolação da água para cada uso do solo



Fonte: Autora, (2022).

A maior taxa de infiltração no uso floresta está relacionado ao depósito de matéria orgânica sobre o solo, o que agrega nutrientes e aumenta a macroporosidade da camada superficial, protegendo os agregados do impacto direto das gostas da chuva, promovendo a redução da velocidade do escoamento

superficial, aumentando o tempo de oportunidade para a infiltração, devido ao aumento da rugosidade hidráulica do percurso ao longo do qual ocorre o escoamento. A vegetação herbácea e a manta orgânica recobrem o solo florestal, contribuindo também para a atenuação dos processos erosivos.

Logo após a floresta, a pastagem também apresenta alta taxa de infiltração apesar da dispersão apresentada, o que pode ser explicada pela presença de vegetação no uso deste solo, pois as pastagens nativas geralmente são consorciadas com florestas. Nesta área de uso do solo em específico, o campo experimental em estudo possui grande presença de vegetação e floresta em seu entorno, o que auxilia no processo de infiltração devido ao depósito de matéria orgânica sobre o solo.

A menor taxa de infiltração foi observado na área de agricultura. Está taxa está relacionada ao manejo do solo na área de plantio que reduz com o tráfego intenso de máquinas agrícolas sobre a superfície, principalmente no uso do sistema convencional de preparo. As atividades diárias realizadas ao longo do cultivo podem compactar a camada superficial do solo, reduzindo sua porosidade, contribuindo assim, para a redução da infiltração de água no solo.

Visto que, em relação aqueles protegidos por palhas, os solos descobertos apontam reduções da taxa de infiltração de até 85% (DULEY, 1939; BERTOL et al., 1989; FARIA et al., 1998, SILVA et al., 2001; COGO et al., 2003). Este estudo vem validar estes parâmetros, uma vez que, obteve-se uma redução de 86% na taxa de percolação do uso agricultura em comparação ao uso floresta e 63% do uso agricultura em comparação ao uso pastagem. Alterações essas, geradas pelo manejo decorrente da frequência das operações de práticas agrícolas no solo, e do efeito de compactação produzido pelo trânsito de máquinas agrícolas ou animais, produzindo o encrostamento superficial, que surge em solos com superfície desprotegida e intensamente cultivados, reduzindo a capacidade de infiltração do solo.

Isso corobora com os dados coletados em estudo, de que a cobertura vegetal e o manejo do solo atuam no impacto das gotas de chuva que formam canais preferenciais pelo sistema radicular das plantas, favorecendo o processo de infiltração, sendo fatores determinantes do processo de infiltração. Com isso, demonstra o quanto foi significativa a influência das distintas atividades de uso do solo no processo de infiltração.

5.0 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta pesquisa apresentou a avaliação da variabilidade da taxa de infiltração de água no solo como indicador de impacto da alteração do uso do solo em áreas de novos loteamentos urbanos com diferentes tipos de uso (agricultura, pastagem e floresta), em relação aos critérios e recomendações presentes na literatura.

Este estudo vem validar os parâmetros estudados, uma vez que, obteve-se uma redução de 86% na taxa de percolação do uso agricultura em comparação ao uso floresta e 63% do uso agricultura em comparação ao uso pastagem. A taxa de infiltração apresentou-se com grande variação nos usos pastagem e agricultura, com menor capacidade de infiltração. Já o uso floresta apresentou maior taxa de infiltração, sendo observada menor dispersão da taxa de infiltração.

Essa dispersão apresentada nos usos pastagem e agricultura foi explicada pela diferença da porosidade e condutividade hidráulica do solo, que devido ao aumento da densidade do solo a curva de retenção de água sofre mudanças na sua forma, com consequente suavização na inclinação das curvas de retenção de água.

A área de floresta por apresentar cobertura vegetal permanente e consequentemente mais matéria orgânica, facilita a infiltração da água no solo, portanto as taxas são superiores aos outros usos. Depois da floresta a área de pastagem apresenta as taxas mais elevadas, isso se deve ao fato da presença de vegetação, pois o campo experimental em estudo possui grande presença de vegetação e floresta em seu entorno, o que auxilia no processo de infiltração devido ao depósito de matéria orgânica sobre o solo.

A área de agricultura indicou as menores taxas de infiltração, o fator determinante na restrição da capacidade de infiltração é dado ao constante manejo do solo e pelo tráfego intenso de máquinas agrícolas por ser uma área agricultável, que acabam compactando as camadas superficiais do solo.

Cada uso apresenta uma dinâmica de infiltração diferente, embora todas façam parte da mesma unidade territorial e com as mesmas características geomorfológicas e pedológicas. As respostas hídricas nos diversos usos do solo são diferentes, pois cada uso localiza-se em uma região de Pato Branco/PR, diferente assim como dinâmica distinta trazendo respostas variadas.

Esta pesquisa mostrou as alterações no comportamento de infiltração de água no solo em função dos diferentes usos de cobertura vegetal. Demonstrando o quanto foi significativa a influência das distintas atividades de uso do solo, sendo

fatores determinantes do processo de infiltração. Desta maneira, as questões referentes as características do solo têm de ser consideradas na determinação da condutividade hidráulica do solo, sendo elemento de limitação quanto sua aplicação.

Desse modo, pode-se afirmar que neste estudo, foi evidenciado as variações na capacidade de infiltração, concluindo que a infiltração na área de agricultura é reduzida, se comparada com as áreas de floresta e pastagem que apresentam um manejo mais adequado dos solos.

E mesmo existindo uma legislação que orienta as zonas de ocupação dos novos loteamentos urbanos e suas respectivas taxas, a ausência de planejamento na ocupação do solo coopera para um alto percentual de área impermeabilizada nos mesmos, acarretando em maior escoamento superficial em períodos de chuva.

O processo de urbanização é o fator que contribui para o desencadeamento dos impactos ambientais. A implantação de novos loteamentos urbanos sem o devido planejamento coloca em risco o balanço hídrico, devido às alterações no ciclo hidrológico.

O planejamento ambiental e urbano deve ser elencado em minimizar o impacto no ciclo hidrológico. Se os novos empreendimentos forem projetados de forma que reproduzam o ambiente natural, e ainda assim, sirvam para atender as necessidades da população que ocupam o espaço natural, o risco tanto para a sociedade quanto para o ambiente será minimizado.

Diante do exposto é de suma importância resgatarmos atenções ao uso e ocupação do solo no ambiente urbano de forma geral. Como exposto nesta pesquisa, se a má qualidade do uso do solo e a ocupação desordenada se estende sobre a bacia hidrográfica, as complicações são severas a população. Sendo assim, a preservação e conservação do solo é de suma importância para a dinâmica de crescimento do espaço urbano.

6.0 SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS

Recomenda-se para pesquisas futuras sobre a influência de diferentes usos do solo no processo de infiltração, que sejam realizadas análises de matéria orgânica, além das propriedades físicas do solo analisadas neste estudo.

Em relação aos testes de infiltração, sugere-se também realizar a comparação da posição no perfil do terreno na capacidade de infiltração em função dos processos de erosão e deposição.

Ainda em relação aos testes de infiltração, recomenda-se a comparação em diferentes estações do ano, inverno e verão na capacidade de infiltração.

REFERÊNCIAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 7229:** Projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos. Rio de Janeiro, 1993.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 13969:** Tanques sépticos - unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos - projeto, construção e operação. Rio de Janeiro, 1997.

AYOADE, J.O. **Introdução à climatologia para os trópicos.** 13.ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2010.

ALVES, M. C; SUZUKI, L. G. A. S.; SUZUKI, L. E. A. S.; **Densidade do solo e infiltração de água como indicadores da qualidade física de um Latossolo Vermelho distrófico em recuperação.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.31, n.4, p. 617- 625, 2007.

ALVES, C. H. M.; PERONDI, A. M.; MELLO, A. N**. Uma análise das políticas públicas no plano diretor da cidade de Pato Branco, localizada no Sudoeste do Paraná: crescimento urbanístico na bacia hidrográfica urbana do Rio Ligeiro.** X Seminário Internacional sobre Desenvolvimento Regional, 2021.

ANDRADE, A. P.; DESBESELL, A. S.; MACHADO, J. A. **Infiltração de água no solo sob diferentes operações de preparo, em condições de chuva simulada.** Agropecuária Técnica, v.8, n.1/2, 1987.

ANDRADE, L.M.S. BLUMENSCHEIN, R.N. **Cidades sensíveis à água: cidades verdes ou cidades compactas, eis a questão?** Paranoá, Brasília, n° 10, p. 59-76, 2013.

ANTONELI, V.; THOMAZ E. L. **Infiltração de água no solo em período seco e úmido, mensurada em diferentes usos de terra na bacia do Arroio Boa Vista – Guamiranga-PR.** Revista Ambiência. UNICENTRO Guarapuava- PR. v. 5, 2009, p. 1-20.

ARCOVA, F. C. S., CICCO, V. de; ROCHA, P. A. B. **Precipitação efetiva e interceptação das chuvas por floresta de mata atlântica em uma microbacia experimental em Cunha – São Paulo.** Revista Árvore, Viçosa – MG, v.27, n.2, p.257-262, 2003.

ASSIS, R, L.; LAZARINI, G. D.; LANCAS, K. P.; CARGNELUTTI FILHO, A. **Avaliação da resistência do solo à penetração em diferentes solos com a variação do teor de água.** Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v. 29, n. 4, p. 558-568, 2009.

AVILA, B, C.; **Variação da infiltração devido a alterações de uso do solo: estudo de caso de implantação de floresta em bioma pampa.** 2014, f 14. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal.) – Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2014.

BRANDÃO, V. S.; CECÍLIO, R. A.; PRUSKI, F. F.; SILVA, D. D. **Infiltração de água no solo.** Editora UFV, Viçosa, 2006. 120p.

BARBOSA, T. R. L. **Atributos físicos do solo sob espécies florestais da Mata Atlântica na região Serrana Fluminense.** 2012, 274 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal.) – Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Campos dos Goytacazes, 2012.

BERTOL, I.; COGO, N.P.; LIEVEN, R. **Cobertura Morta e Métodos de Preparo de Solo na Erosão Hídrica em Solo com Crosta Superficial.** Revista Brasileira de Ciência do Solo Campinas, v.13, p.373-379, 1989.

BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F.; ROQUE, C. G.; FERRAZ, M. V. **Densidade relativa ótima de Latossolos Vermelhos para a produtividade de soja.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.29, p.843-849, 2005.

CANHOLI, Aluísio Pardo. **Drenagem urbana e controle de enchentes**. São Paulo: Oficina de Textos, 2005.

CARDUCCI, C. E.; OLIVEIRA, G. C.; SEVERIANO, E. C.; ZEVIANI, W. M. **Modelagem da curva de retenção de água de Latossolos utilizando a equação duplo van Genuchten.** Revista brasileira de ciência do solo, v. 35, n. 1, p. 77-86, 2011.

CARVALHO, D. F.; SILVA, L. D. B. **Hidrologia: infiltração**. RIO DE JANEIRO. UFRRJ, 2006. 21P.

CHEN, C.; WAGENET, R.J. **Simulations of water and chemicals in macropore soil. Part 1. Representation of the equivalent macrospore influence and its affect on soil water flow.** Journal Hydrology, v.13, p.105-126, 1992.

COGO, N.P.; LIEVEN, R. & SCHWARZ, R.A. **Perdas de Solo e Água por Erosão Hídrica Influenciadas por Métodos de Preparo, Classes de Declive e Níveis de Fertilidade do Solo.** Revista Brasileira de Ciência do Solo Campinas, v.27, p.743-753, 2003.

COLLISCHONN, W; DORNELLES. F. **Hidrologia para Engenharia e Ciências Ambientais.** 1 ed. Porto Alegre: ABRH, 2013, 350p.

COSTA, F.S. et al. **Propriedades físicas de um Latossolo Bruno afetada pelos sistemas plantio direto e preparo convencional.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.27, n.3, p. 527-535, 2003.

CRAIG, R. F. **Mecânica dos solos.** 7 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2013, 365p.

DEXTER, A. R. **Soil physical quality: part I, theory, effects of soil texture, density, and organic matter, and effects on root growth.** Geoderma, v. 120, n. 3-4, p. 201-214, 2004.

DULEY, F. L. **Surface Factors Affecting the Rate of Intake of Water by Soils.** Soil Science American Journal Proceedings, v. 4, p. 60-64, 1939.

DIAS JUNIOR, M; MOZART, S.D; FERREIRA, M.M. **Informática na Agropecuária: Física do Solo.** Lavras: UFLA/FAEPE, 54p., 1997.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. (1997). **Manual de Métodos de Análise de Solo.** Disponível em: <https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/Manual+de+Metodos_000fzvhotqk02wx5ok0q43a0ram31wtr.pdf>. Acesso em: 12 fevereiro, 2022.

IAPAR – Instituto Agronômico do Paraná. (2000). **Cartas Climáticas do Paraná.** Disponível em: <http://www.iapar.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=677>. Acesso em: 12 fevereiro, 2022.

IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. (2019). Disponível: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pr/pato-branco/panorama>. Acesso em: 12 fevereiro, 2022.

FARIA, R.; PEDROSA, A. **Impactos da Urbanização na Degradação do solo urbano e sua relação com o incremento de inundações urbanas em Santa Maria da Feira.** In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM IN LAND DEGRADATION AND DESERTIFICATION, 2005. Uberlândia. Anais, 2005, p. 1-12.

FARIAS, H. F. L. **Velocidade de infiltração da água no solo irrigado por pivô central no município de Silvânia – GO**. 2015, 61 f. Monografia (Bacharelado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual de Goiás, CCET, Anápolis, 2015.

FARIA, J. C.; SCHAEFER, C.E.; RUIZ, H.A.; et al. **Effects of Weed Controlo n Physical and Micropedological Properties of Brazilian Ultisol**. Revista Brasileira Ciência do Solo. v. 22, p. 731-741, 1998.

FREITAS, Andreza Rocha**. Identificação de áreas potencializadoras de inundações e enxurradas: uma proposta metodológica aplicada na bacia Arroio dos Pereiras, Irati-PR.** Tese (Doutorado em Geografia) - Programa de Pós Graduação em Geografia, da Universidade Estadual de Ponta Grossa. Ponta Grossa, 2018.

FREDLUND, D.G.; RAHARDJO, H. **Soil mechanics for unsaturated soils.** Wiley-Interscience Publications, (1993).

GARCEZ, L. N.; ALVAREZ, G. A. **Hidrologia.** 2 ed. São Paulo: Blucher, 1988, 304p.

USGS – Science for a changing world. (2019). **The water cycle.** Disponível em: < https://www.usgs.gov/special-topics/water-science-school/science/o-ciclo-dagua-water-cycle-portuguese#overview>. Acesso em: 12 fevereiro, 2022.

JABUR, S. A**. Alterações hidrológicas decorrentes de mudança do uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica do Alto Rio Ligeiro, Pato Branco - PR.** Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Programa de Pós Graduação em Engenharia Florestal, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2010.

KLAR, A.E. **A água no Sistema Solo-planta-atmosfera**. Nobel, São Paulo, 1984, 408p.

KUNEN, A.; IRRIGARAY, P. A. M.; MARINI, J. M. **Leis urbanas e ambientais do município de Pato Branco: repercussões no ambiente construído**. Rev. Dir. Cid., Rio de Janeiro, Vol. 14, N.02., 2022, p. 1095-1124.

KUTILEK, M.; NIELSEN, D.R. **Soil hydrology**. Alemanha: Catena Verlag, 1994. 370p.

LIMA, W. P. **Hidrologia florestal aplicada ao manejo de bacias hidrográficas.** 2. Ed. São Paulo: Copyright, 2008.

MANCUSO, M. A.; FLORES, B. A.; ROSA, G. M. SCHROEDER, J. K.; PRETTO, P. R. P. **Características da taxa de infiltração e densidade do solo em distintos tipos de cobertura de solo em zona urbana.** Revista Monografias Ambientais, v. 14, n.1, Edição Especial p. 2890–2998, fev, 2014

MARASCA, I.; OLIVEIRA, C.; GUIMARÃES, E.; CUNHA, J.; ASSIS, R.; PERIN, A.; MENEZES, L. **Variabilidade espacial da resistência do solo à penetração e do teor de água em sistema de plantio direto na cultura da soja.** Bioscience Journal, Uberlândia, v. 27, n. 2, p. 239-246, 2011.

MARTINS, J.A. **Evaporação e transpiração.** In: PINTO, N.L.S et al.Hidrologia básica. São Paulo: Edgard Blücher, 2008.

MESQUITA, M. G. B. F.; MORAES, S. O. **A dependência entre a condutividade hidráulica saturada e atributos físicos do solo.** Ciência Rural, Santa Maria, v.34, n.3, p.963-969, 2004.

MINOSSO, J., ANTONELI, V.; FREITAS, A. R. **Variabilidade sazonal da infiltração de água no solo em diferentes tipos de uso na região sudeste do Paraná.** Geographia Meridionalis. V.03, n.1. p.86-103. 2017.

NICOLOSO, R. S.; AMADO, T. J. C.; SCHNEIDER, S.; LANZANOVA, M. E.; GIRARDELLO, V. C.; BRAGAGNOLO, J. **Eficiência da escarificação mecânica e biológica na melhoria dos atributos físicos de um Latossolo muito argiloso e no incremento do rendimento de soja.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v.32, p.1723-1734, 2008.

OLIVEIRA, Muriel Batista**. Análise do desempenho de equações de infiltração e de métodos de determinação da capacidade de campo para solos em uma bacia hidrográfica de São José de Ubá-RJ.** Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Programa de Pós Graduação em Engenharia, da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2005.

PANACHUKI, E.; BERTOL, I.; ALVES SOBRINHO, T.; OLIVEIRA, P. T. S.; RODRIGUES, D. B. B. **Perdas de solo e de água e infiltração de água em latossolo vermelho sob sistemas de manejo.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.35, p.1777-1785, 2011.

PATO BRANCO (PR). (2022). O município. **Informações Gerais de Pato Branco.** Disponível em:< http://www.patobranco.pr.gov.br/omunicipio/informacoes-gerais/>. Acesso em: 12 fevereiro, 2022.

PATO BRANCO (PR). (2022). Secretarias. Secretaria Municipal de Planejamento Urbano. Mapas e Arquivos para Download. **Mapa Base do Município.** Disponível em:<https://patobranco.pr.gov.br/mapas-e-arquivos-para-download/>. Acesso em: 12 fevereiro, 2022.

PINTO, N.L.S et al**. Hidrologia Básica**. São Paulo: Edgard Blücher, 2008.

POTT, C. A. **Determinação da velocidade de infiltração básica de água no solo por meio de infiltrômetros de aspersão, de pressão e de tensão, em três solos do estado de São Paulo.** 2001, 77f. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical) – Instituto Agronômico, Pós-Graduação do Instituto Agronômico, Campinas, 2001.

PRUSKI, F.F.; BRANDÃO, V.S., SILVA, D.D. **Escoamento superficial.** Viçosa: UFV, 2003, 88 p.

REICHARDT, K. **A água em sistemas agrícolas.** São Paulo: Manole, 1990. 188p

REICHERT, J.M.; SUZUKI, L.E.A.S.; REINERT, D.J.; HORN, R. E HAKANSSON, I. **Reference bulk density and critical degree-of-compactness for no-till crop production in subtropical highly weathered soils.** Soil; Tillage Research, 102:242-254, 2009.

SANTOS, G. G. M. **Relatório de determinação da capacidade de percolação do solo.** Pato Branco, 2018.

SANTOS, G. G. M. **Relatório de determinação da capacidade de absorção do solo.** Pato Branco, 2020.

SANTOS, M. A. dos. **A Influência do uso e ocupação da terra na variabilidade sazonal da taxa de infiltração na bacia hidrográfica Rio Bonito em Irati-Pr.** Dissertação. PPGG-UEPG-PR. Ponta Grossa. 2016, 97p.

SALES, L. E. O.; FERREIRA, M. M.; OLIVEIRA, M. S.; CURI, N. **Estimativa da velocidade de infiltração básica do solo. Pesquisa** agropecuária brasileira, Brasília, v.34, n.11, p.2091-2095, 1999.

SANTOS, J. N.; PEREIRA, E. D. **Carta de susceptibilidade a infiltração da água no solo na sub-bacia do rio Maracanã-MA.** Cadernos de Pesquisa, São Luís, v. 20, n. especial, julho 2013.

SILVA, M. A. S.; MAFRA, A. L.; ALBUQUERQUE, J. A.; BAYER, C.; MIELNICZUK, J. **Atributos físicos do solo relacionados ao armazenamento de água em um Argissolo Vermelho sob diferentes sistemas de preparo.** Ciência Rural, v.35, n.3, p.544-552, 2005.

SILVA, D. D.; PAIVA, K.W.N.; PRUSKI, F.F.; et al. **Escoamento Superficial para Diferentes Intensidades de Chuva e Porcentagens de Cobertura num Podzólico Vermelho Amarelo com Preparo e Cultivo em Contornos.** Engenharia Agrícola, v. 21, n. 1, p. 12-22, 2001.

TUCCI, C.E.M. **Hidrologia: Ciência e Aplicação.** 3 ed. Porto Alegre: UFRGS / ABRH, 2004, 943p.

TUCCI, C.E.M. Drenagem Urbana. **Revista Ciência e Cultura**. v.55, n.4, pp.36-37, 2003.

TUCCI, C.E.M. **Impactos da variabilidade climática e do uso do solo nos recursos hídricos.** Agência Nacional de Águas: Câmara Temática sobre Recursos Hídricos - Fórum Brasileiro de Mudanças Climáticas. 2002. 150 p. 32

TUCCI, C. E. M.; CLARKE, R. T. 1997. **Impactos das mudanças da cobertura vegetal no escoamento.** Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre, v. 2, n. 1Jan/jun, 135-152. 1997.

TUCCI, C. E. M.; **Gestão das Inundações Urbanas**. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Porto Alegre, 2005. 175 p.

WIKIMEDIA COMMONS. (2006). **Mapa de Pato Branco, Paraná.** Disponível em: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/0/0d/Parana_Municip_PatoBranco.svg>. Acesso em: 12 fevereiro, 2022.

WOLFF, H. M. **Laudo dos estudos geológicos e hidrogeológicos.** Pato Branco, 2021.

ZWIRTES, A. L.; SPOHR, R. B.; BARONIO, C. A.; MENEGOL, D. R.; ROHR, M. R. **Avaliação dos impactos causados por diferentes sistemas de manejo nos atributos físicos do solo**. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE TECNOLOGIAS PARA O MEIO AMBIENTE, 3, 2012, Bento Gonçalves – RS. Anais, Bento Gonçalves: Universidade de Caxias do Sul, 2012.