

ANÁLISE DA CAPACIDADE DRENANTE EM PAVIMENTOS DE POSTOS DE COMBUSTÍVEL LOCALIZADOS NA CIDADE DE CASCAVEL – PR

CALCAGNO, Gabriel Machado¹

MÜLLER, Nelson Júnior²

RESUMO: Os postos de combustível configuram-se por serem empreendimentos com potencial poluidor presente. Desses, alguns possuem o modelo de pavimentação intertravada de concreto (*pavers*) em suas áreas. O estudo teve como objetivo, avaliar a influência da capacidade de infiltração nesses pavimentos em 3 (três) unidades localizadas no município de Cascavel – PR através de ensaios em campo. O método aplicado para coleta de dados baseia-se nas prerrogativas da Norma ASTM C 1701 (2009), ao qual utilizou-se o dispositivo chamado infiltrômetro, capaz de medir a variação da infiltração em um determinado tempo. Mediante aos dados adquiridos em campo, pode-se realizar a análise de regressão não linear com a função *solve*, no editor de planilhas *Excel*, e obter os valores de capacidade de infiltração inicial (f_0), capacidade de infiltração em condição de saturação (f_c) e taxa de decaimento constante da taxa de infiltração (β), na equação de *Horton*. A curva gerada pela equação possibilitou comparar a capacidade de infiltração dos pavimentos das unidades, em condições de dias secos e chuvosos. Aos dados coletados pelo infiltrômetro, realizados fora e dentro do perímetros dos empreendimentos, obteve-se, respectivamente, os valores de capacidade de infiltração final (f_c) de 35,40 mm/h e 4,79 mm/h. Posteriormente, conclui-se que as curvas de infiltração geradas pela regressão não linear, nos pavimentos intertravados de concreto, possuem um comportamento similar em ambas condições de saturação e, juntamente com a fundamentação dos formulários e questionários, pode-se constatar que a infiltração não induz diretamente nas principais falhas ocorridas em tanques de armazenamento de combustível.

Palavras-chave: Pavimento intertravado, capacidade de infiltração, postos de combustível.

¹ Gabriel Calcagno Machado, acadêmico do curso de Engenharia Civil, Centro Universitário Assis Gurgacz, Cascavel - PR. E-mail: gabrielcalcagno1@gmail.com.

² Nelson Müller Júnior, Engenheiro Civil, Especialista em Saneamento, professor no curso de Engenharia Civil do Centro Universitário Assis Gurgacz, Cascavel – PR.

1. INTRODUÇÃO

Os efeitos enquanto processo da Revolução Industrial e o aumento acelerado da população total do país foram alguns dos acontecimentos que tiveram influência sobre o processo de desenvolvimento urbano no Brasil (LODDER, 1977). Segundo o Departamento Nacional de Trânsito – DENATRAN (2018), houve um crescimento exponencial no número de veículos para transporte pessoal entre os anos 2008 e 2018, dessa forma, a demanda pelo combustível tornou-se fundamental para os motoristas nos centros urbanos. Porém, é notório que os resíduos líquidos, como a gasolina, presentes em postos de combustível, são produtos potencialmente contaminantes para o meio ambiente. Tendo em vista a preocupação com a preservação ambiental, medidas como a gestão de resíduos e ações preventivas de controle e fiscalização para o armazenamento do produto combustível se fazem necessárias, principalmente nas áreas que são destinadas para instalação de unidades que revendem tais produtos (LORENZETT e ROSSATO, 2010).

De acordo com Araújo *et al.* (2000), a influência de áreas tais como telhados, passeios, ruas e outros elementos de características impermeáveis, alteram a qualidade do ciclo hidrológico e as proporções volumétricas na região urbana. Tais ocorrências implicam no acúmulo de sedimentos e poluentes que são transportados para os corpos de água, como rios e riachos (BECKER e PINHEIRO, 2019).

Desse modo, Salbego & Santos e Silva (2018) alegam que há alternativas aplicadas em países desenvolvidos, as quais atuam como catalizadores para redução do escoamento superficial nos perímetros, como a pavimentação permeável. Porém, Becker e Botelho (2019) alertam que determinados modelos comprometem a potabilidade de aquíferos nas regiões urbanas, já que ao possibilitar o aumento da infiltração para o solo, atuam como potenciais canais de poluição.

Ainda que o risco de acidentes em postos seja baixo, não é descartada a chance de haver falhas na instalação e, conseqüentemente, incidentes ou mesmo acidente. Segundo o levantamento elaborado pela CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo, em 2019, o número de incidentes de unidades revendedoras de combustível categorizadas como “Contaminadas com risco confirmado”, somente no estado de São Paulo, chegou a 901 casos no ano de 2017.

A partir do contexto exposto, a pergunta a ser respondida com a realização deste estudo será: Qual é a dimensão do risco presente nos postos de combustível na cidade de Cascavel, no

estado do Paraná, considerando a infiltração nos pavimentos um dos fatores determinantes para riscos futuros?

Diante dessa abordagem, o estudo está delimitado à análise da permeabilidade da pavimentação presente em 3 (três) unidades de revenda de combustível, na cidade de Cascavel-PR e visou identificar a infiltração como um dos principais fatores de falha nas instalações de armazenamento de combustível, havendo também a possibilidade de erro de execução, uso de insumos impróprios ou mal aplicação na instalação nesses empreendimentos.

A fim de manter a integridade das empresas responsáveis pelos locais, diante de qualquer informação abordada neste estudo, optou-se pelo anonimato dos nomes das referidas unidades. O levantamento de dados será delimitado pelo Método de Teste Padrão para Taxa de Infiltração de Concreto Permeável em Campo, com o auxílio do método de inspeção visual e questionários elaborados pela Resolução do CONAMA nº 273 (2000).

Com base nos aspectos mencionados anteriormente, este trabalho terá como objetivo geral determinar a capacidade drenante existente no pavimento intertravado de postos de combustível localizados na referida cidade.

Salienta-se que para que este trabalho científico possa ter pleno êxito, os seguintes objetivos específicos serão propostos:

- a) Abordar o processo de infiltração como um dos principais catalizadores de falhas nos sistemas de armazenamento de combustível a partir de entrevistas e questionários normatizados;
- b) Caracterizar o desempenho do pavimento intertravado das unidades referentes à pesquisa, em termos de capacidade de infiltração pelo Método de Teste Padrão para Taxa de Infiltração de Concreto Permeável em Campo;
- c) Identificar os problemas decorrentes da infiltração em postos de combustível localizados na cidade de Cascavel - PR.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Impermeabilização superficial e seus aspectos negativos

De acordo com Hölzt (2011), o processo de urbanização ocorrido nas últimas décadas se deu em consequência do crescimento considerável da população brasileira. Conforme Figura 1, os dados apresentados na publicação evidenciam o ápice da evolução demográfica nacional durante as décadas de 1950 e 1960. Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (2010), o Brasil, assim como outros países da América Latina, apresentou um decréscimo com relação à taxa populacional anual a partir do ano 2000, comparando a população que vive na área rural e na área urbana, as mudanças acentuaram-se contemplando 15,63% da população brasileira morando na área rural e 84,36% em área urbana.

Figura 1: Taxa média geográfica de crescimento anual da população.

Países da América do Sul	Evolução taxa de crescimento da população					
	1950-1960	1960-1970	1970-1980	1980-1990	1990-2000	2000-2010
Mundo	1,84	1,98	1,88	1,77	1,44	1,20
América do Sul	2,77	2,63	2,32	2,07	1,63	1,23
Argentina	1,86	1,52	1,61	1,50	1,24	0,90
Bolívia	2,14	2,31	2,41	2,21	2,24	1,80
Brasil	2,99	2,89	2,48	1,93	1,64	1,17
Chile	2,32	2,27	1,56	1,67	1,58	1,05
Colômbia	2,92	2,91	2,34	2,14	1,82	1,53
Equador	2,74	3,01	2,91	2,57	1,87	1,60
Guiana	3,26	2,55	0,75	-0,69	0,11	0,29
Guiana Francesa	2,42	4,14	3,39	5,61	3,49	3,43
Paraguai	2,61	2,68	2,55	2,88	2,33	1,91
Peru	2,67	2,88	2,74	2,29	1,78	1,18
Suriname	3,04	2,53	-0,18	1,07	1,38	1,17
Uruguai	1,26	1,02	0,37	0,65	0,66	0,15
Venezuela	4,03	3,51	3,48	2,73	2,15	1,76

Fonte: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (2010).

Entretanto, foi constatado que este desenvolvimento urbano, atrelado ao mau planejamento, teve como consequência a geração de áreas impermeáveis, como as grandes edificações e o asfaltamento de ruas e calçadas, de modo a reduzir a capacidade drenante das regiões urbanas (SALBEGO & SANTOS E SILVA, 2018; HÖLTZ, 2011).

Ao comparar as porcentagens das diferenças no escoamento do fluxo pluviométrico em superfícies permeáveis e impermeáveis, o Instituto de Águas do Paraná - IAP (2002) demonstra que, sob cobertura natural, o percentual de escoamento durante precipitações é de aproximadamente 10% (dez por cento) em relação às superfícies pavimentadas em áreas urbanas, com 30% (trinta por cento), conforme Figura 2.

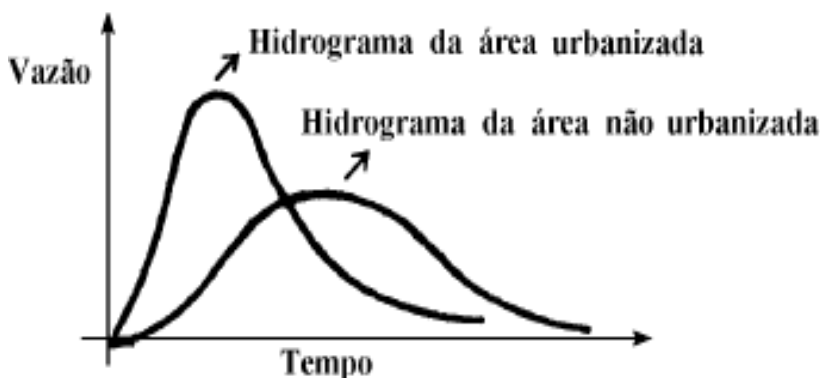
Figura 2: Representação da porcentagem escoada em dois modelos de superfície.



Fonte: Instituto de Águas do Paraná (2002) – adaptada.

O mau planejamento da infraestrutura urbana e o descaso com o meio ambiente, comuns em muitas grandes cidades brasileiras, com frequência resultam em alagamentos, inundações e enchentes (IAP, 2002). Estes fenômenos, causados por grandes precipitações, resultam do excesso de áreas impermeáveis assim como da sobrecarga dos sistemas de captação de águas pluviais. O hidrograma da Figura 3 representa a distribuição da vazão em função do tempo.

Figura 3: Modelo de hidrograma comparativo entre áreas urbanizadas e não urbanizadas.



Fonte: Instituto de Águas do Paraná (2002).

2.2 Bloco de concreto permeável

O pavimento permeável é uma alternativa viável para a redução da taxa de escoamento, sendo possível o aumento da drenagem superficial nos centros urbanos. Entretanto, como Salbego & Santos e Silva (2018) citam em seu estudo, este sistema de captação no Brasil em comparação a outros países mais desenvolvidos, começou a ser implementado recentemente,

desse modo, o conhecimento aplicado nacionalmente, ainda está em desenvolvimento em nosso país.

A eficácia do bloco de concreto permeável foi afirmada por Bean (2004), ao replicar ocorrências de alagamento delimitadas por dois anéis de aço estanques, preconizadas pelo Método de Teste Padrão para Taxa de Infiltração de Concreto Permeável em Campo, em diferentes pontos do local de estudo, concluindo que, diferentemente dos lotes inteiramente impermeáveis como asfalto, o escoamento proveniente dessas superfícies pode ser consideravelmente reduzido.

2.3 Potenciais riscos relacionados à contaminação do solo provenientes de postos de combustível

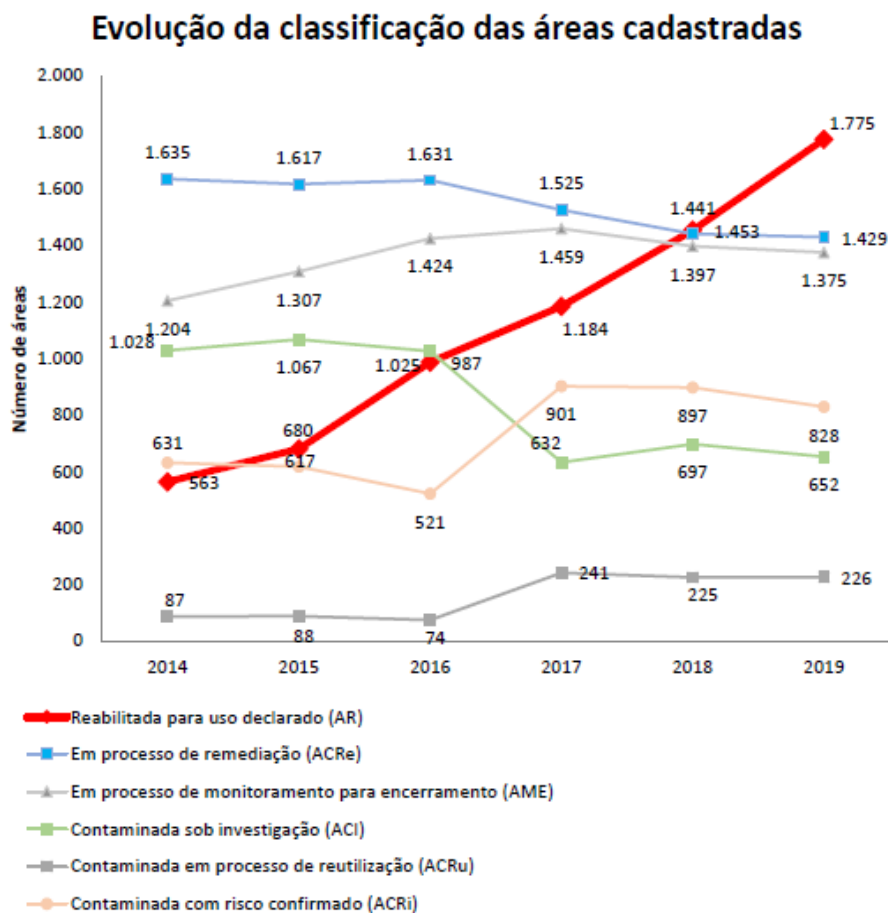
Botelho *et al.* (2012) expõem que as atividades associadas à armazenagem de líquidos como o combustível, bem como seu uso para abastecimento de veículos, possuem relação direta e significativa com o meio ambiente. Neste contexto, as diretrizes de obtenção do licenciamento ambiental podem ser compreendidas como uma ferramenta de prevenção à poluição, a fim de garantir qualidade ambiental dos empreendimentos. De acordo com as diretrizes estabelecidas na Resolução do CONAMA nº 273 (2000), as necessidades, em vista da sustentabilidade, ressaltam a importância de edificações com sistemas capazes de inibir a contaminação do solo e aquíferos das regiões urbanas, portanto, é imprescindível a realização de inspeções nesses empreendimentos. Vazamentos em postos de combustíveis estão relacionados à deficiência de infraestrutura, manutenção e desgastes dos tanques de armazenamento, que devem ser utilizados por um período máximo de 20 anos (MENEZES *et al.*, 2011).

Segundo o estudo da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo – CETESB, de 2019, os setores de postos de combustíveis corresponderam em torno de 70% do total das áreas cadastradas por tipo de atividade potencialmente geradora de contaminação, em comparação a outros setores, como atividade industrial, comercial e de resíduos.

Conforme Figura 4, elaborada pela CETESB, de dezembro de 2019, pode-se obter uma relação com o número de incidentes ocasionados pela contaminação do solo nos respectivos empreendimentos de armazenagem e venda de combustível, no estado de São Paulo. Observa-se o aumento das áreas cadastradas classificadas como contaminada com uso

declarado (ACRi) e reabilitada para uso declarado (AR), sendo notável o crescimento entre os anos de 2016 e 2017.

Figura 4: Evolução da classificação das áreas cadastradas



Fonte: CETESB (2019).

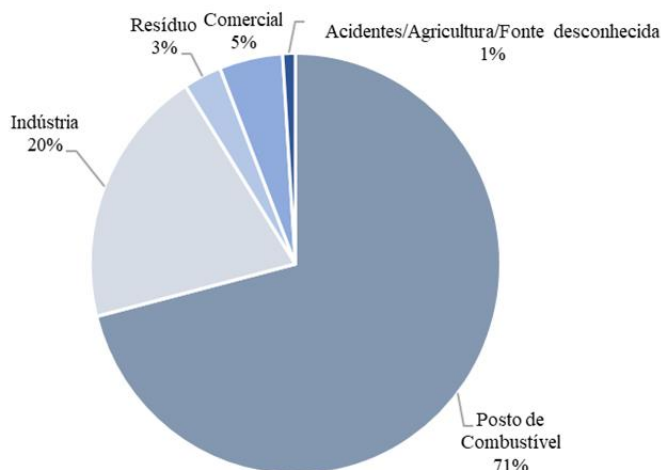
As áreas designadas como “ACRi” são compreendidas àquelas que, mediante investigação e avaliação de risco, foi constatado a contaminação nas camadas de solo ou de águas subterrâneas sob o empreendimento avaliado. Enquanto cadastro das áreas designadas como “AR” configuram se àquelas anteriormente contaminadas que, após as medidas necessárias de intervenção, reestabeleceram ao risco considerado aceitável à saúde humana, meio ambiente, entre outras localidades de proteção necessária.

Menezes *et al.* (2011) menciona que a maioria dos casos relacionados à contaminação em postos de combustível, acontece em função dos tanques de armazenamento, os quais estão em avançado estado de oxidação.

Diante desse contexto, o levantamento elaborado pela CETESB, publicado em dezembro de 2019, distribuiu a relação do número total de áreas cadastradas em todo o estado

de São Paulo quanto aos seus respectivos ramos de atuação, dentre os quais, destacam-se as indústrias e os postos de combustível.

Figura 5: Distribuição das áreas cadastradas conforme o ramo de atuação.



Fonte: CETESB (2019) - adaptada.

Como dito anteriormente, a contribuição de cerca de 70% do levantamento obtido pelo órgão gestor é correspondente aos postos de combustível.

2.4 Aspectos negativos relacionados à infiltração

Os pavimentos permeáveis possuem a capacidade de infiltração elevada, sendo assim, são capazes de reter boa parte do escoamento superficial durante uma chuva, entretanto, são também considerados potenciais canais de poluição, pois promovem o transporte de poluentes para o solo (BECKER e PINHEIRO, 2019).

Em condições de fuga, esses subprodutos podem contaminar o solo e a água subterrânea, ou, quando na forma volátil na atmosfera, podem ser um risco para a segurança pública e a saúde (BOTELHO *et al.*, 2012).

3. METODOLOGIA

3.1 Tipo de estudo

O presente estudo tratou de uma pesquisa de campo, com levantamento de dados, que constitui na simulação de chuvas através do experimento no perímetro na cidade de Cascavel, Paraná. As unidades revendedoras de combustível foram selecionadas com base no modelo de pavimentação intertrava de blocos de concreto, comumente chamados de *pavers*, instalados nas áreas de tráfego de veículos de porte leve, no perímetro desses empreendimentos, aos quais, estão localizados no perímetro do referido município.

A pesquisa foi realizada pelo conjunto de modelos de categoria qualitativa e quantitativa, os quais atribuíram respectivamente a inspeção visual e coleta de dados *in loco*. As possíveis causas foram identificadas através de revisão bibliográfica, por meio da busca em bases de dados como *Google Scholar*, *SciELO* e *Science.gov*, os quais contemplam artigos de periódicos, entre outras fontes, a fim de garantir a sustentação dos referenciais teóricos no presente estudo.

A razão pela qual o método foi adotado é decorrente do melhor desenvolvimento dos resultados obtidos na coleta de dados *in loco* e da comparação de diferentes perspectivas traçadas por dados qualitativos e quantitativos (CRESWELL, 2014).

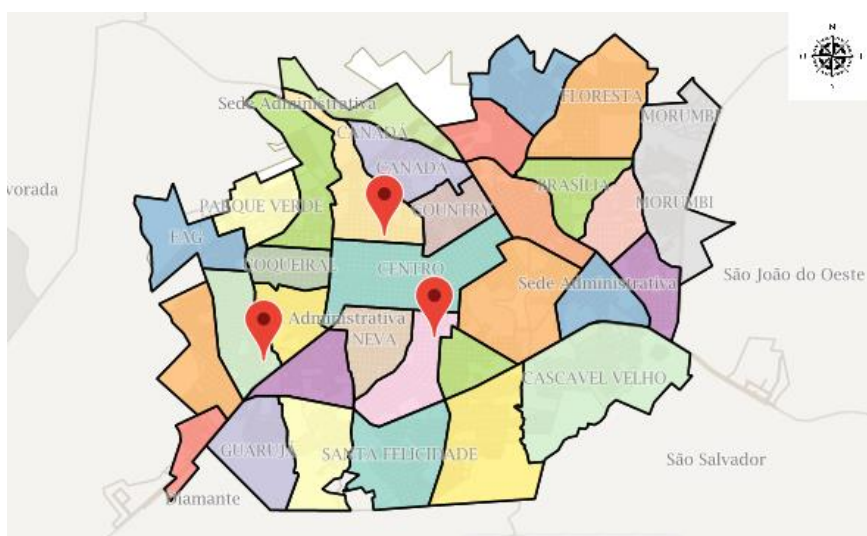
Após a coleta de dados será averiguada, no local, a taxa de maior incidência de permeabilidade do pavimento, por meio de tabelas e gráficos. Os resultados obtidos poderão abordar as vulnerabilidades presentes nos sistemas de armazenamento quanto a vazamentos de produto combustível. Consequentemente, ações de correção poderão ser indicadas, a fim de reduzir o risco proveniente de alto grau de umidade resultante da taxa de infiltração dos pavimentos.

3.2 Caracterização da amostra

Para fins de uma melhor elaboração nos resultados da pesquisa, a pesquisa de campo foi realizada em diversos locais no perímetro urbano da cidade de Cascavel, Paraná, conforme Figura 6. As unidades foram escolhidas conforme sua localização e modelo de pavimento

permeável, sendo relevante na definição dos pontos, a autorização, para a coleta de dados, de seus respectivos proprietários.

Figura 6: Mapa do perímetro urbano de Cascavel identificando as unidades selecionadas para a seguinte pesquisa.



Fonte: Instituto de Planejamento de Cascavel - IPC (2020) – adaptada.

Como abordado anteriormente, as unidades revendedoras de combustível foram selecionadas baseando-se nos modelos de pavimentações com *pavers*. Para isso, foram levantados cerca de 45 (quarenta e cinco) postos em todo o perímetro urbano da cidade de Cascavel-PR, dos quais, apenas 10 (dez) possuem a pavimentação intertravada. Destes, 7 (sete) não foram obtidas autorizações dos proprietários dos estabelecimentos ou possuíam desnível acentuado, fato que impossibilita o nivelamento do dispositivo de coleta dos dados em campo.

3.3 Instrumentos e procedimentos para coleta de dados

A coleta de dados foi efetuada de forma visual e experimental, no próprio local das unidades, sendo realizadas visitas técnicas nos respectivos postos revendedores de combustível entre os meses de julho e setembro de 2020, onde foram realizados os testes na pavimentação das instalações, juntamente com registro fotográfico das áreas estudadas.

As visitas aconteceram em período integral, ocorrendo tanto em dias ensolarados quanto chuvosos. Para o levantamento de informativos referentes às unidades de interesse desde

estudo, foram utilizados os questionários da Resolução CONAMA N° 237, de 29 de novembro de 2000, a qual é referência para a obtenção de Licença de Operação das unidades que se configuram como empreendimento potencialmente ou parcialmente poluentes.

3.3.1 Questionário e formulários

Para o levantamento de dados no método de inspeção visual, fez-se necessário o uso de formulários padronizados, para obtenção das informações nos ambientes de interesse de estudo. Conforme elucidado no Capítulo 1, o presente estudo preservou as imagens das respectivas empresas atuantes no ramo de postos revendedores de combustível.

Os questionários adotados foram sujeitos a adaptações pelo autor deste estudo, os quais estão isentos de questionamentos tais como “Identificação do Proprietário” e “Identificação do Empreendimento”.

As seguintes tabelas (Tabela 1 e Tabela 2), propostas pela Resolução CONAMA n° 273 (2000), possuem competências para obtenção do cadastro do licenciamento ambiental. No presente estudo, foram atribuídas para obtenção de dados complementares para o estudo, a fim de sustentar os dados obtidos pelo método experimental.

Tabela 1: Questionário para a categorização do ambiente em um raio de 100m em relação à unidade de abastecimento.

	Sim	Não
- Rua com galeria de drenagem de águas	()	()
- Rua com galeria de esgotos ou de serviços	()	()
- Esgotamento Sanitário em fossas em áreas urbanas	()	()
- Edifício multifamiliar sem garagem subterrânea até quatro andares	()	()
- Edifício multifamiliar com garagem subterrânea com mais de quatro andares	()	()
- Favela em cota igual ou inferior	()	()
- Edifícios de escritórios comerciais com mais de quatro andares	()	()
- Garagem ou túnel construídos no subsolo	()	()
- Poço de água artesiano ou não, para consumo doméstico	()	()
- Casa de espetáculos ou templos religiosos	()	()
- Hospital	()	()
- Metrô	()	()
- Transporte ferroviário de superfície	()	()
- Atividades industriais de risco conforme NB-16	()	()
- Água do subsolo utilizada para consumo público da cidade	()	()
- Corpos naturais superficiais de água destinados:	()	()
a) abastecimento doméstico	()	()
b) proteção das comunidades aquáticas	()	()
c) recreação de contato primário	()	()
d) irrigação	()	()
e) criação natural e/ou intensiva de espécies destinadas à alimentação humana	()	()
f) drenagem	()	()

Fonte: Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA n° 273, 2000 – adaptada.

Tabela 2: Questionário de avaliação geral dos instrumentos de retenção de líquidos contaminantes.

Controle de Estoques	() manual Sim	(x) automático Não
Monitoramento Intersetorial automático	()	()
Poços de Monitoramento de águas subterrâneas	()	()
Poços de Monitoramento de vapor	()	()
Válvula de retenção junto a Bombas	()	()
Proteção contra derramamento	()	()
Câmara de acesso a boca de visita do tanque	()	()
Contenção de vazamento sob a unidade abastecedora	()	()
Canaleta de contenção da cobertura	()	()
Caixa separadora de água e óleo	()	()
Proteção contra transbordamento	()	()
Descarga selada	()	()
Câmara de contenção de descarga	()	()
Válvula de proteção contra transbordamento	()	()
Válvula de retenção de esfera flutuante	()	()
Alarme de transbordamento	()	()
Outros (descrever)	()	()

Fonte: Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA nº 273, 2000 – adaptada.

Os seguintes questionamentos dizem respeito ao monitoramento dos procedimentos realizados durante inspeções semestrais periódicas preestabelecidas pela Resolução do CONAMA nº 273 (2000). Tais questionamento são:

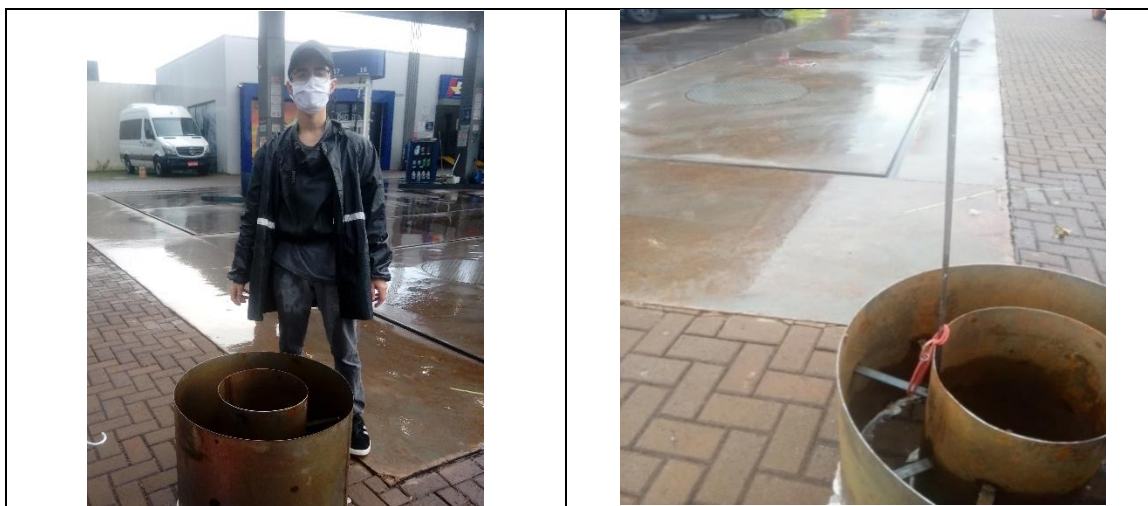
- a) Já foram substituídos tanques?
- b) Existem poços de monitoramento das águas subterrâneas?
- c) Quais os métodos de detecção de vazamentos em tanques adotados pelo posto?
- d) Existe proteção catódica para o sistema de armazenamento de combustível?

3.3.2 Método de teste padrão para taxa de infiltração

O instrumento de coleta de dados foi conduzido nos pavimentos das unidades revendedoras de combustível referentes, através do Método de Teste Padrão para Taxa de Infiltração de Concreto Permeável em Campo, ou então designado como C1701, com o uso do infiltrômetro de anéis concêntricos, publicado pela *ASTM Internacional*.

Diante dessa contextualização, os processos metodológicos foram destinados aos locais onde situam-se os tanques de armazenamento de combustível, nas referidas unidades, conforme Figuras 7 e 8.

Figura 7: Instalação do infiltrômetro. **Figura 8:** Dispositivo instalado próximo à área dos tanques.



Fonte: Autor (2020).

Foi necessário vistoriar as localidades antecipadamente para garantir onde seria a melhor área para suceder as aferições, conforme Figura 9, já que algumas áreas se encontravam com afundamentos ocasionados, aparentemente, pelo constante tráfego de veículos, conforme Figura 10, delimitado pela linha vermelha.

Figura 9: Pavimento intertravado nivelado. **Figura 10:** Pavimento intertravado com afundamento.

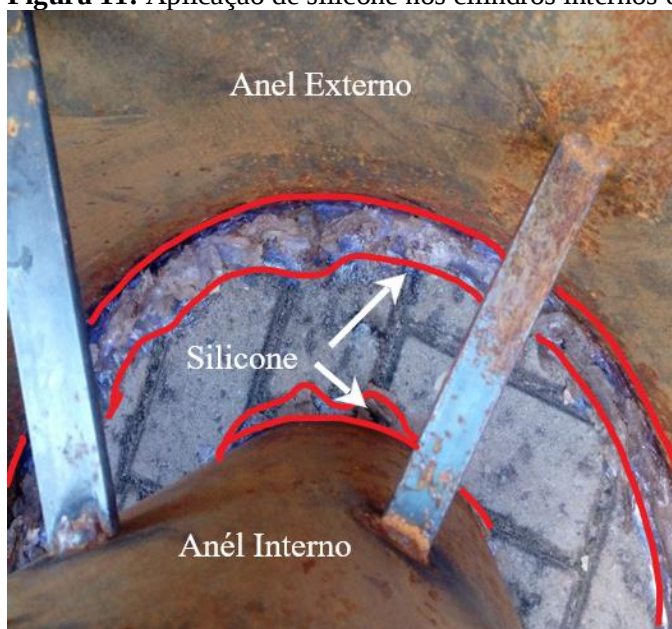


Fonte: Autor (2020).

Para a efetiva realização do teste, foram necessários alguns requisitos elucidados pela norma *American Study for Methods and Materials - ASTM C1701* (2009), dentre eles destacou-se a importância de efetivar o método em superfícies ligeiramente planas e uniformes, sem nenhum tipo de vão como fissuras, rachaduras ou quaisquer detritos no local do teste para garantir precisão nos resultados obtidos.

A instalação do infiltrômetro nos locais determinados para o estudo foi sucedida com aplicação de silicone na base do dispositivo e entre os vãos do pavimento, para garantir sua estanqueidade, conforme Figura 11.

Figura 11: Aplicação de silicone nos cilindros internos e externos.



Fonte: Autor (2020).

Antes de dar início ao estudo, foi determinado o uso de 3,6 litros de água em ambas as condições de dias secos e chuvosos, conforme normativa, para a pré-molhagem dos locais a serem estudados, conforme a norma *ASTM C1701* (2009). Essa etapa garante que a camada de solo subsequente ao pavimento intertravado tenha um grau de saturação mínimo.

Após essa etapa, depositou-se água até a altura determinada de 20 cm em todas as medições em campo, através de uma régua metálica, em ambos os cilindros, interno e externo, conforme Figura 12.

Figura 12: Processo de enchimento no cilindro interno.



Fonte: Autor (2020).

O tempo de infiltração iniciou-se após a lâmina atingir a altura anteriormente preconizada, sendo medido por 2 cronômetros para garantir a veracidade da contagem. Os testes só foram dados por encerrado após não haver lâmina alguma no cilindro interno ou se o nível se mantivesse durante um período mínimo de 2 minutos.

Após a coleta de dados em campo foi possível determinar a capacidade de infiltração, obtida a partir da o representado pela Equação 1 e 2:

$$h = \frac{V}{a} \quad (1)$$

Onde:

h = Lâmina de água infiltrada (cm);

V = Volume infiltrado durante o tempo t , em cm^3 ;

a = Área correspondente ao cilindro interno (cm^2).

A conversão da lâmina de água infiltrada (h) para capacidade de infiltração (f) expressa em mm/h, foi obtida pela Equação 2:

$$f = \frac{60 h}{t} \quad (2)$$

Para ajuste da capacidade de infiltração utilizou-se a equação de *Horton*, apresentada na Equação 3:

$$f = fc + (fo - fc) \cdot e^{-\beta \cdot t} \quad (3)$$

Onde:

f = Capacidade de infiltração no tempo t (mm/hora);

fc = Capacidade de infiltração em condição de saturação (mm/hora);

fo = Capacidade de infiltração inicial (mm/hora);

t = tempo (minutos);

β = Taxa de decaimento constante da taxa de infiltração. (1/h).

Os valores da equação da infiltração foram calculados pelo o método de regressão não linear, a qual foi elaborada por meio do recurso chamado *Solve*, do editor de planilhas em *Excel*.

3.4 Análise dos dados

Após a coleta de dados, foi consolidada a análise por meio da revisão bibliográfica, relacionando o grau de permeabilidade nos modelos de pavimento dos postos de combustível, juntamente com normativas designadas à instalação e manutenção dos tanques de armazenamento e bombas de combustível, com suas possíveis causas bem como o método para recuperação dos mesmos. Os seguintes dados recolhidos das metodologias de coleta *in loco* foram reunidos em planilhas e gráficos no formato *Excel*.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

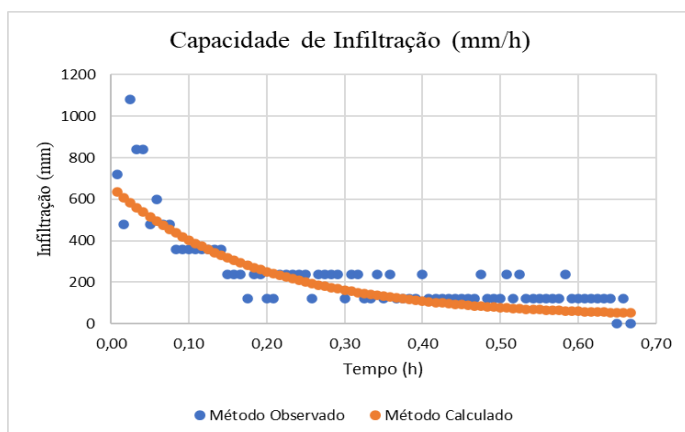
4.1 Capacidade de infiltração a partir da regressão não-linear

Após a aquisição da coleta em campo, as medições obtidas foram alocadas em gráficos e planilhas (Apêndice 3) e foram induzidas aos cálculos do método de regressão não linear a partir do recurso *Solve* no editor de planilha *Excel*, com o intuito de estabelecer os parâmetros da capacidade de infiltração em condições saturadas (f_c) e a taxa de decaimento de infiltração (β). Todos os ensaios que se repetiram nos mesmos locais e nas condições de tempo similares, foram submetidos à média para ajuste dos resultados.

Os gráficos (Figuras 13 e 14) a seguir, dizem respeito à curva de infiltração em pavimentos de bloco de concreto intertravado, nas situações de solo saturado, ou seja, em dias chuvosos, e não saturado, em dias sem a presença de chuva de no mínimo 3 (três) dias que antecedem a coleta de dados em campo. Neles, encontra-se o conjunto de ensaios realizados em áreas fora do perímetro das unidades de revenda de combustíveis estudadas.

A partir do ajuste da equação *Horton*, determinou-se a infiltração inicial (f_o) e a infiltração final (f_c), conforme o gráfico 1A, representado na Figura 13, sendo que se obteve os valores de 661,41 mm/h (f_o) e 33,41 mm/h (f_c). Assim, resultou-se na constante β igual a -5,27.

Figura 13: Gráfico 1A - Situação em solo não saturado.

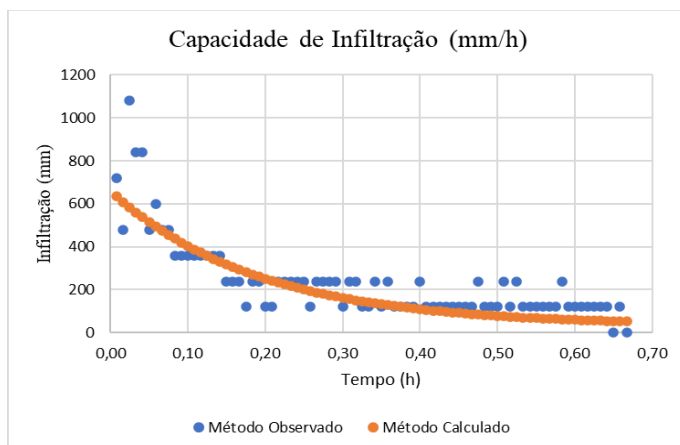


Fonte: Autor (2020).

O mesmo ajuste na equação de *Horton* procedeu-se para realização do gráfico seguinte com relação à situação de solo saturado, representado na Figura 14. O ajuste da equação de

Horton obteve os valores de 658,89 mm/h (f_o) e 35,40 mm/h (f_c). Assim, resultou-se igualmente na constante da situação anterior de β igual a -5,27.

Figura 14: Gráfico 1B - Situação em solo saturado.



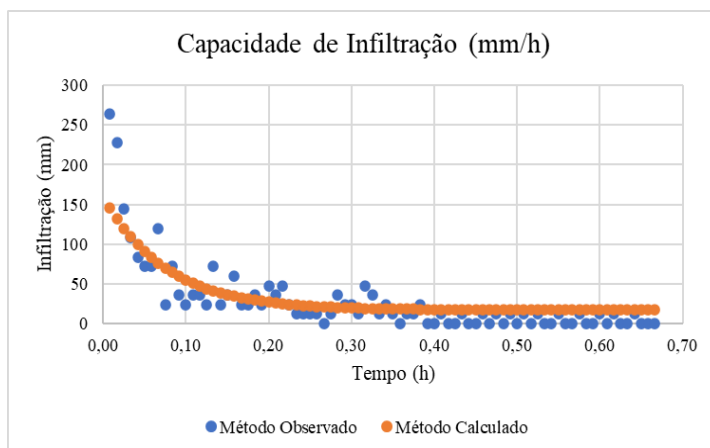
Fonte: Autor (2020).

Nota-se que a capacidade de infiltração permanece similar em ambas as situações de solo saturado e não saturado.

Os gráficos a seguir (Figuras 15 e 16) compreendem os ensaios realizados em áreas no perímetro das unidades de revenda de combustíveis estudadas, especificamente nas proximidades dos tanques de armazenamento.

A partir do ajuste da equação *Horton*, determinou-se a infiltração inicial (f_o) e a infiltração final (f_c), conforme o gráfico 2A, representado na Figura 15, onde foram obtidos os valores de 161 mm/h (f_o) e 17,25 mm/h (f_c). Assim, resultou-se na constante β igual a -13,42.

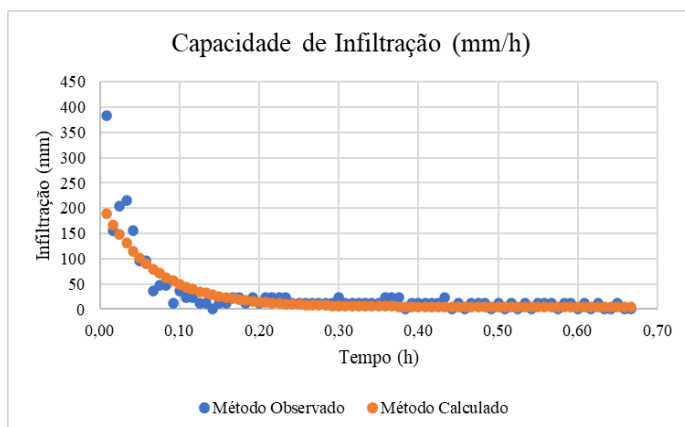
Figura 15: Gráfico 2A - Situação em solo não saturado.



Fonte: Autor (2020).

O mesmo ajuste na equação de *Horton* procedeu-se para realização do gráfico abaixo (Figura 15) com relação à situação de solo saturado gráfico 2B, representado na Figura 16. O ajuste da equação de *Horton* obteve os valores de 215,66 mm/h (f_o) e 4,79 mm/h (f_c). Assim, resultou-se igualmente na constante da situação anterior de β igual a -15,46.

Figura 16: Gráfico 2B - Situação em solo saturado.



Fonte: Autor (2020).

Observa-se que, para os ensaios realizados nos postos, há a variação na curva de infiltração nas situações solo saturado e não saturado, enquanto nos ensaios realizados em calçadas, não houve uma variação significativa. Segundo Villela e Mattos (1975), alguns fatores intervêm para determinação da capacidade de infiltração, dentre os quais, a umidade do solo e matéria orgânica.

4.2 Preenchimentos dos questionários e formulários

Foram preenchidos, inicialmente, os questionários pré-estabelecidos pelo autor para o presente estudo, conforme Apêndice 1 e Apêndice 2, os quais foram respondidos pelos representantes das unidades de estudo como pelo próprio autor, a fim de estabelecer conhecimento com relação às características presentes nos postos de combustíveis.

Os questionários alocados em tabelas, propostos na Resolução nº 273 (2000), dizem respeito a obtenção do licenciamento ambiental nos estabelecimentos contemplados e, após as visitas previamente agendadas, foram respondidos com base nos depoimentos dos responsáveis. Com relação aos questionários, no que diz respeito ao monitoramento dos procedimentos durante as inspeções semestrais, as respostas foram elaboradas durante e após as visitas.

As informações obtidas, conforme Apêndice 1 e Apêndice 2, foram significativas para o presente estudo pois se faz necessária determinar as características dos empreendimentos estudados, tais como infraestrutura, sistemas de proteção e gestão dos líquidos compreendidos como combustíveis.

a) Já foram substituídos tanques?

Sim, todas as unidades tiveram seus tanques de armazenamento substituídos entre os períodos de 2013 e 2014. Conforme a FEBOMBUSTÍVEIS (2011), em seu manual de segurança de operações seguras, os tanques instalados nos postos de combustíveis citados possuem dupla camada com interstício, assim como poços de monitoramento, e abrangem um sistema de controle via software. Esses tanques são monitorados constantemente através de sensores instalados no interstício, local entre as paredes externas e internas.

b) Existem poços de monitoramento das águas subterrâneas?

Conforme informações obtidas em entrevistas com os responsáveis, todas as unidades abrangem o sistema de monitoramento de águas subterrâneas, em conformidade com ABNT NBR 13784 de 1997.

c) Quais os métodos de detecção de vazamentos, em tanques, adotados pelos postos?

Todos os métodos de prevenção e detecção de vazamentos estão de acordo com as diretrizes da ABNT NBR 13784, de 1997, que inclui: poço de monitoramento de águas subterrâneas e de vapores, detecção através de monitoramento intersticial em tanques de parede dupla, monitoramento de pressão e ensaios de estanqueidade.

d) Existe proteção catódica para o sistema de armazenamento de combustível?

Sim, todos os postos de combustíveis possuem a proteção catódica. Menezes *et al.*, (2011) explica que o trabalho de monitoramento das correntes nos dutos foi muito favorecido ultimamente pela interação entre os diversos compartilhadores dos leitos de passagem.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho possibilitou uma nova visão para os empreendimentos estudados, referindo-se às possibilidades remotas quanto às falhas nos tanques de armazenamento de

combustível. O experimento fundou-se no modelo de pavimento permeável com intertravamento de blocos de concreto.

Verificou-se que as curvas de infiltração nos pavimentos intertravados de concreto possuem um comportamento similar nas condições de dias secos e chuvosos. No entanto, algumas diferenças quanto aos dados, podem estar caracterizadas pelo tempo de instalação do pavimento, a característica dos solos sob a camada pavimentada, bem como o grau de saturação já estabelecido durante as medições anteriores, os quais não foram abordadas neste estudo. Essas características poderão servir de parâmetro para estudos futuros

Quanto aos questionários respondidos durante as visitas aos postos, foi constatado que os métodos de proteção e vistoria são eficientes, inibindo prematuramente quaisquer riscos de vazamentos de líquidos contaminantes. Além disso, foram apresentados ao autor desse estudo os sistemas controlados via *software* e seus relatórios de controle de estoque. Neste sentido, pode-se afirmar que os postos de combustível sujeitos à coleta de dados em campo seguem as prescrições técnicas de segurança.

Porém, sugere-se o uso alternativo do revestimento em concreto rígido no perímetro dos postos de combustível, pois o mesmo apresenta alto grau de impermeabilidade, o que inibe a saturação nas camadas subsequentes do pavimento e, conseqüentemente, restringe o risco abordado no presente estudo.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, P. R.; TUCCI, C. E. M.; GOLDENFUM, J. A. **Avaliação da Eficiência dos Pavimentos Permeáveis na Redução de Escoamento Superficial**. p. 1, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13784**: Detecção de vazamento em postos de serviço. p. 3-6, 1997.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS: **ASTM C1701**: Standard Test Method for Infiltration Rate of in Place Pervious Concrete. 2009.

BECKER, N.; PINHEIRO, I. G. **Potencialidade dos pavimentos permeáveis na melhoria da qualidade da água do escoamento superficial**. Revista Brasileira de Gestão Urbana, v. 11, 2019.

BEAN, E. Z.; HUNT, W. F.; BIDELESPACH, D. A. **Field Survey of Permeable Pavement Surface Infiltration Rates**. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, v. 133, n. 3, p. 249–255, 2007.

BOTELHO, T. S.; TAROCO, T.; NOBUISHI, R. M. **Gestão dos Impactos Ambientais de um Posto Revendedor de Combustíveis: Um Estudo de Caso**. 2012. p. 3–12.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO – CETESB. (2019). **Relação de Áreas Contaminadas**. Disponível em: < <https://cetesb.sp.gov.br/areas-contaminadas/relacao-de-areas-contaminadas/> >. Acesso em: 12/04/2020.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. **Resolução N°237/2000**. 2000. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res00/res27300>>. Acesso em: 01/04/2020.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE TRÂNSITO – DENATRAN. **Estatísticas - Frota de Veículos**. Disponível em: < <https://infraestrutura.gov.br/component/content/article/115-portal-denatran/8558-frota-de-veiculos-2018.html> >. Acesso em: 30/03/2020.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Levantamento de Reconhecimento dos Solos do Estado do Paraná**. Ministério da Agricultura, v. 27, p. 233–238, 1984.

HÖLTZ, F. C. **Uso do Concreto Permeável na Drenagem Urbana: Análise da Viabilidade Técnica e do Impacto Ambiental**. 2011. Acesso em: 12/04/2020.

IAP - Instituto de Águas do Paraná. **Plano Diretor de Drenagem para Bacia do Rio Iguaçu na Região Metropolitana**. Estudos Hidrológicos - Metodologia e Hidrogramas Calculados, v. 3, p. 3–4, 2002.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Frota de Veículos**. 2018. Disponível em: < <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pesquisa/22/28120> >. Acesso em: 27/03/2020.

IPC – Instituto de Planejamento de Cascavel. **Setor Urbanístico de Cascavel**. Acesso em: 08/05/2020.

LODDER, C. A. **O Processo de Crescimento Urbano no Brasil**. Pesquisa e Planejamento Econômico. 1977. p. 462.

LORENZETT, D. B.; e ROSSATO, M. V. **Gestão de Resíduos em Postos de Abastecimento de Combustível**. 2010.

MENEZES, A. M.; MOREIRA, C. A.; ILHA, L. M.; SCHWEIG, C. **Estudo Geofísico de Vazamento de Combustíveis em Posto de Abastecimento**. v.30, n. 4, 2011.

MOSCHINI, L. E. e SANTOS, J. E. e RODRIGUES, J. S. P. **Environmental Diagnosis of Risk Areas Related to Gas Stations**. Brazilian Archives of Biology and Technology - An International Journal, v. 48, 2005.

SALBEGO, A. G.; e SANTOS E SILVA, A. M. **Influência das Intensidades de Precipitações na Eficiência de Pavimento Intertravado de Concreto Permeável**. 2018.

VILLELA, S. M. e MATTOS, A. **Hidrologia Aplicada**. Infiltração, p. 70-73, 1975.

APÊNDICE 1 – FORMULÁRIO DE CATEGORIZAÇÃO DO AMBIENTE

Categorização do Ambiente	Posto nº1		Posto nº2		Posto nº3	
	SIM	NÃO	SIM	NÃO	SIM	NÃO
- Rua com galeria de drenagem de águas	(X)	()	(X)	()	(X)	()
- Rua com galeria de esgotos ou de serviços	(X)	()	(X)	()	(X)	()
- Esgotamento Sanitário em fossas em áreas urbanas	(X)	()	(X)	()	(X)	()
- Edifício multifamiliar sem garagem subterrânea até quatro andares	()	(X)	()	(X)	(X)	()
- Edifício multifamiliar com garagem subterrânea com mais de quatro andares	()	(X)	()	(X)	(X)	()
- Favela em cota igual ou inferior	()	(X)	()	(X)	()	(X)
- Edifícios de escritórios comerciais com mais de quatro andares	()	(X)	(X)	()	(X)	()
- Garagem ou túnel construídos no subsolo	()	(X)	(X)	()	(X)	()
- Poço de água artesiano ou não, para consumo doméstico	()	(X)	()	(X)	()	(X)
- Casa de espetáculos ou templos religiosos	()	(X)	()	(X)	()	(X)
- Hospital	()	(X)	(X)	()	()	(X)
- Metrô	()	(X)	()	(X)	()	(X)
- Transporte ferroviário de superfície	()	(X)	()	(X)	()	(X)
- Atividades industriais de risco conforme NB-16	()	(X)	()	(X)	()	(X)
- Água do subsolo utilizada para consumo público da cidade	(X)	()	(X)	()	(X)	()
- Corpos naturais superficiais de água destinados:						
a) abastecimento doméstico	()	(X)	()	(X)	()	(X)
b) proteção das comunidades aquáticas	()	(X)	()	(X)	()	(X)
c) recreação de contato primário	()	(X)	()	(X)	()	(X)
d) irrigação	()	(X)	()	(X)	()	(X)
e) criação natural e/ou intensiva de espécies destinadas à alimentação humana	()	(X)	()	(X)	()	(X)
f) drenagem	()	(X)	()	(X)	()	(X)

APÊNDICE 2 – FORMULÁRIO DE CONTROLE DE ESTOQUES

Controle de Estoques	Posto nº1		Posto nº2		Posto nº3	
	() manual	(X) automático	() manual	(X) automático	() manual	(X) automático
	Sim	Não	Sim	Não	Sim	Não
Monitoramento Intersetorial automático	(X)	()	(X)	()	(X)	()
Poços de Monitoramento de águas subterrâneas	(X)	()	(X)	()	(X)	()
Poços de Monitoramento de vapor	(X)	()	(X)	()	(X)	()
Válvula de retenção junto a Bombas	(X)	()	(X)	()	(X)	()
Proteção contra derramamento	(X)	()	(X)	()	(X)	()
Câmara de acesso a boca de visita do tanque	(X)	()	(X)	()	(X)	()
Contenção de vazamento sob a unidade abastecedora	(X)	()	(X)	()	(X)	()
Canaleta de contenção da cobertura	(X)	()	(X)	()	(X)	()
Caixa separadora de água e óleo	(X)	()	(X)	()	(X)	()
Proteção contra transbordamento	(X)	()	(X)	()	(X)	()
Descarga selada	(X)	()	(X)	()	(X)	()
Câmara de contenção de descarga	(X)	()	(X)	()	(X)	()
Válvula de proteção contra transbordamento	(X)	()	(X)	()	(X)	()
Válvula de retenção de esfera flutuante	(X)	()	(X)	()	(X)	()
Alarme de transbordamento	(X)	()	(X)	()	(X)	()
Outros (descrever)	()	(X)	()	(X)	()	(X)

APÊNDICE 3 – COLETA DE DADOS EM CAMPO – LÂMINA INFILTRADA X TEMPO (CM/SEG)

