



CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS

Recredenciado pela Portaria Ministerial nº 1.162, de 13/10/16, D.O.U nº 198, de 14/10/2016
ASSOCIAÇÃO EDUCACIONAL LUTERANA DO BRASIL

Mauricio Alves de Paiva

AVALIAÇÃO DO IMPACTO DA ÁGUA DE CHUVA NA VAZÃO AFLUENTE À ETE
NORTE NA CIDADE DE PALMAS (TO)

Palmas – TO

2018

Mauricio Alves de Paiva
AVALIAÇÃO DO IMPACTO DA ÁGUA DE CHUVA NA VAZÃO AFLUENTE À ETE
NORTE NA CIDADE DE PALMAS (TO)

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) II elaborado e apresentado como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil pelo Centro Universitário Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA).

Orientador: Prof. Me. Dalton Cardozo Bracarense.

Palmas – TO

2018

Mauricio Alves de Paiva
AVALIAÇÃO DO IMPACTO DA ÁGUA DE CHUVA NA VAZÃO AFLUENTE À ETE
NORTE NA CIDADE DE PALMAS (TO)

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) II elaborado e apresentado como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil pelo Centro Universitário Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA).

Orientador: Prof. Me. Dalton Cardozo Bracarense.

Aprovado em: 14 / 06 / 2018

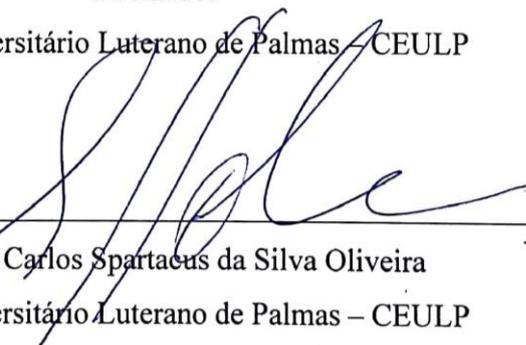
BANCA EXAMINADORA



Prof. Me. Dalton Cardozo Bracarense

Orientador

Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP



Prof. Me. Carlos Spartacus da Silva Oliveira

Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP



Prof. Esp. Kenia Parente Lopes Mendonça

Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP

Palmas – TO

2018

AGRADECIMENTOS

A Deus pela permissão de alcançar os meus objetivos. Pelo cuidado e proteção durante toda minha caminhada.

Ao meu orientador, Prof. Me. Dalton Cardozo Bracarense, pela atenção e dedicação.

À banca examinadora pela participação e contribuição.

À BRK Ambiental/Saneatins pela disponibilização dos dados para o estudo.

RESUMO

PAIVA, Mauricio Alves de. **Avaliação do impacto da água de chuva na vazão afluyente à ETE Norte na cidade de Palmas – TO**. 2018. 54 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário Luterano de Palmas, Palmas/TO, 2018.

O presente trabalho discute o impacto da água de chuva na vazão afluyente a Estação de Tratamento de Esgotos (ETE) Norte de Palmas (TO). Tendo em vista que a interferência de águas pluviais no sistema de esgotamento sanitário é um dos principais problemas enfrentados hoje pelas concessionárias e operadoras de sistema de esgoto sanitário. Este trabalho foi realizado através do levantamento, ao longo do período de janeiro de 2015 a dezembro de 2017, dos dados da vazão afluyente à ETE Norte bem como dos dados pluviométricos da cidade visando relacionar o aumento da vazão afluyente à estação com a incidência de chuva na região. A metodologia empregada foi dividida nas seguintes fases: coleta de dados pluviométricos; coleta de histórico de vazão afluyente à ETE Norte; seleção e caracterização dos dados coletados; determinação dos períodos de tempo seco e chuvoso; confecção de gráficos, tabelas e hidrogramas; estimativa da contribuição pluviométrica na vazão da ETE; estimativa da taxa de contribuição de águas pluviais; estimativa do coeficiente de variação de vazão devido ao aporte de água de chuva; definição da relação entre precipitação e vazão afluyente à ETE e levantamento de possíveis soluções para reduzir o impacto da vazão pluviométrica na vazão que chega à ETE. Os resultados desta pesquisa permitiram a obtenção de hidrogramas representativos da situação da ETE em período seco e chuvoso; de estimativa de contribuição pluviométrica para a ETE; da taxa de contribuição de águas pluviais na vazão afluyente à ETE e o coeficiente de variação de vazão, e de equação matemática que possibilite correlacionar a precipitação com a vazão afluyente a ETE.

Palavras-chave: Esgotamento sanitário. Contribuição pluviométrica. Sobrecarga. aporte indevido.

ABSTRACT

PAIVA, Mauricio Alves de. **Evaluation of the impact of rainwater on the ETE Norte Effluent flow in the city of Palmas - TO.** 2018. 54 f. Course Completion Work (Undergraduate) - Civil Engineering Course, Centro Universitário Luterano de Palmas, Palmas/TO, 2018.

The present work discusses the impact of rainwater on the tributary flow to the Sewage Treatment Station (STS) North of Palmas (TO). Considering that the interference of rainwater in the sanitary sewage system is one of the main problems faced today by the concessionaires and operators of the sanitary sewage system. This work was carried out by surveying, during the period from January 2015 to December 2017, the data of the inflow to the North STS as well as of the pluviometric data of the city in order to relate the increase of the inflow to the station with the rainfall in the region. The methodology used was divided into the following phases: rainfall data collection; collection of flow history affluent to the North STS; selection and characterization of the data collected; determination of periods of dry and rainy weather; making graphs, tables and hydrographs; estimation of the pluviometric contribution in the STS flow; estimation of rainwater contribution rate; estimation of the coefficient of variation of flow due to the contribution of rainwater; definition of the relation between precipitation and tributary flow to the STS and survey of possible solutions to reduce the impact of the pluviometric flow in the flow that arrives at the STS. The results of this research allowed hydrographs to be obtained representative of the situation of STS in dry and rainy season; estimation of rainfall contribution for STS; of the rainwater contribution rate in the STS-affluent flow rate and the coefficient of variation of the flow, and of a mathematical equation that makes it possible to correlate the precipitation with the STS-affluent flow.

Keywords: Sanitary sewage. Rainfall contribution. Overload. undue contribution.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Ciclo hidrológico.....	15
Figura 2 – Ciclo de uso de água para abastecimento de água.	15
Figura 3 – Elementos de uma calha Parshall.....	17
Figura 4 – Calha Parshall instalada.	17
Figura 5 – Sistema unitário ou combinado.....	18
Figura 6 – Sistema separador parcial.....	19
Figura 7 – Sistema separador absoluto.....	19
Figura 8 – Hidrograma típico de vazão de esgoto sanitário.	22
Figura 9 – Gerador de Fumaça Power Smoker - Hurcotech.....	26
Figura 10 – Localização das principais estruturas do sistema de esgotamento sanitário de Palmas (TO).	28
Figura 11 – Fluxograma do sistema de tratamento da ETE NORTE.	29
Figura 12 – Fluxograma típico de tratamento preliminar.....	30
Figura 13 – Componentes de um reator UASB e seus caminhamentos.	31
Figura 14 – Reator UASB da ETE experimental da UFMG.	31
Figura 15 – Esquema de um sistema de lodos ativados convencional.	32
Figura 16 – Vista aérea da ETE NORTE.	34
Figura 17 - Registro dos eventos pluviométricos segundo metodologia proposta por Metcalf e Eddy (1991 apud FESTI, 2006).....	39
Figura 18 – Hidrograma de vazões médias e máximas da ETE Norte no período seco.....	40
Figura 19 – Hidrograma de vazões médias e máximas da ETE Norte no período chuvoso. ...	41
Figura 20 – Hidrograma de vazões médias da ETE Norte nos períodos seco e chuvoso.....	42
Figura 21 – Qcp em relação ao índice pluviométrico para a ETE Norte na cidade de Palmas/TO.	45

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Contribuição de água de chuva em redes de esgotos.....	24
Tabela 2 – Classificação de eventos de chuva.....	36

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CEULP	Centro Universitário Luterano de Palmas
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
EEE	Estação Elevatória de Esgotos
ETE	Estação de Tratamento de Esgotos
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
NBR	Norma Técnica Brasileira
OMS	Organização Mundial de Saúde
PV	Poço de Visita
PVC	Polyvinyl chloride (policloreto de vinil)
TCC	Trabalho de Conclusão de Curso
UASB	Upflow Anaerobic Sludge Blanket Digestion (Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente)
UFMG	Universidade Federal de Minas Gerais
ULBRA	Universidade Luterana do Brasil

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	PROBLEMA DE PESQUISA.....	12
1.2	HIPÓTESES.....	12
1.3	OBJETIVOS.....	12
1.3.1	Objetivo Geral	12
1.3.2	Objetivos Específicos.....	12
1.4	JUSTIFICATIVA.....	13
2	REFERENCIAL TEÓRICO	14
2.1	A ÁGUA E SEU CICLO	14
2.2	PRECIPITAÇÃO	16
2.2.1	Coleta de dados pluviométricos	16
2.3	DETERMINAÇÃO DE VAZÕES EM ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTOS	16
2.4	SISTEMA DE ESGOTO SANITÁRIO	17
2.4.1	Tipos de sistemas de coleta de esgotos.....	17
2.5	PARÂMETROS DE PROJETO DE REDE COLETORA DE ESGOTOS	20
2.6	APORTE DE ÁGUAS PLUVIAIS EM SISTEMAS DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO	23
2.6.1	Problemas ocasionados pelas vazões incontroladas	24
2.6.2	Causas e métodos de identificação do aporte de água de chuva	25
2.6.3	Possíveis soluções.....	27
2.7	ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTOS NORTE.....	27
3	METODOLOGIA	34
3.1	LOCAL DE REALIZAÇÃO DA PESQUISA.....	34
3.2	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	35
3.2.1	Coleta de dados pluviométricos	35
3.2.2	Coleta de histórico de vazão afluente à ETE NORTE.....	36
3.2.3	Estimativa da contribuição pluviométrica na vazão da ETE.....	37
3.2.4	Relação entre precipitação e vazão afluente à ETE.....	38
3.2.5	Soluções para reduzir impacto da vazão pluviométrica na ETE.....	38
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	39
4.1	ANÁLISE DE DADOS PLUVIOMÉTRICOS.....	39
4.2	VAZÃO AFLUENTE À ETE NORTE.....	40

4.3	CONTRIBUIÇÃO PLUVIOMÉTRICA NA VAZÃO DA ETE	43
4.4	RELAÇÃO ENTRE PRECIPITAÇÃO E VAZÃO AFLUENTE À ETE	45
4.5	SOLUÇÕES PARA REDUZIR IMPACTO DA VAZÃO PLUVIOMÉTRICA NA ETE.....	46
4.5.1	Ações de curto prazo (contínuo)	46
4.5.2	Ações de médio prazo.....	47
4.5.3	Ações de longo prazo.....	47
5	CONCLUSÃO	48
6	REFERÊNCIAS	50
	APÊNDICE A.....	53

1 INTRODUÇÃO

A maior parte da água tratada utilizada em uma casa voltará do imóvel na forma de água servida, ou esgoto. O esgoto é uma mistura de água e matéria orgânica (dejetos e água do serviço doméstico); 99,9 % do volume do esgoto pode ser água e 0,1% ou mais, pode ser de matéria orgânica e o objetivo principal do tratamento de esgoto é desfazer essa mistura, para que se devolva à natureza um líquido que não polua ou contamine o meio ambiente (CESAN, 2013; VON SPERLING, 1996).

No Brasil, a cobertura de esgotamento sanitário ainda está muito longe do ideal, apenas 50,7 % da população, o que representa 102,7 milhões de pessoas, estão conectadas às redes de coleta de esgoto. Dos esgotos coletados, apenas 42,67% são tratados (INSTITUTO TRATA BRASIL, 2015).

Os sistemas de esgotos sanitários podem ser classificados em sistema combinado (também conhecidos como unitário), sistema parcialmente combinado (também conhecido como separador parcial) e sistema separador absoluto. No sistema combinado, são transportadas as águas de chuva e as águas residuais em uma mesma tubulação; no sistema parcialmente combinado apenas uma parcela da água de chuva escoia junto com o esgoto; e no sistema separador absoluto existem tubulações distintas para conduzir a água pluvial e águas residuais (AZEVEDO NETTO et al., 1998; TSUTIYA E BUENO, 2005).

Desde 1912, o Brasil apadrinhou o sistema separador absoluto como sendo o melhor para ser utilizado no país. Nesse tipo de sistema a rede de esgoto e a de água pluvial atuam de forma independente, o que leva a não se considerar, no dimensionamento das redes, o lançamento de águas pluviais na rede de esgoto nem o inverso. Entretanto, mesmo que as águas pluviais não devessem chegar às redes de sistemas separadores absolutos, frequentemente chegam, devido a defeitos nas instalações, às ligações clandestinas, e também pela falta de fiscalização.(AZEVEDO NETTO, 1979; AZEVEDO NETTO et al., 1998).

Com o lançamento indevido de água de chuva na rede de esgoto, o sistema separador absoluto sofre sobrecarga, trazendo problemas. As principais adversidades ocasionadas são: desgaste prematuro dos componentes do sistema, gerando despesas extras, devido necessidade maior de manutenções e trocas de equipamentos; redução da eficiência do tratamento, em decorrência da diminuição da concentração de biomassa na etapa de tratamento biológica; impacto ambiental, em consequência do lançamento do efluente excedente da Estação de Tratamento de Esgotos (ETE) sem tratamento adequado no corpo receptor (ITONAGA et al., 1994 apud PEREIRA et al., 2003; SILVA et al., 2009).

Diante do exposto, foi realizado um estudo no sistema de esgotamento da cidade de Palmas (TO), especificamente na área de abrangência da ETE Norte, a fim de avaliar o impacto da água de chuva na vazão afluente à estação. Para tanto, foram analisados hidrogramas em tempo seco e chuvoso da ETE Norte de Palmas (TO), estimou-se a taxa de contribuição de águas pluviais na vazão afluente à ETE e o coeficiente de variação de vazão, definindo a relação entre precipitação e vazão afluente à ETE. A partir dos resultados, foram propostas soluções para reduzir o impacto da vazão pluviométrica na vazão que chega à ETE.

1.1 PROBLEMA DE PESQUISA

No Brasil, os sistemas de esgotamento de grande parte das cidades não operam conforme previsto nas normas técnicas, que determinam o sistema separador absoluto. Embora dimensionados como separados absolutos, na realidade, os sistemas brasileiros trabalham como sistemas parcialmente combinado, o que gera refluxos, sobrecarga nas estações elevatórias e prejudicam o funcionamento das estações de tratamento (TSUTIYA E BUENO, 2004; FESTI, 2005).

Nesse contexto, este trabalho busca responder ao seguinte problema de pesquisa: Qual o impacto da água de chuva na vazão afluente à ETE Norte em Palmas (TO)?

1.2 HIPÓTESES

As hipóteses abordadas são: (1) Água de chuva aumenta consideravelmente a vazão afluente à ETE; (2) os dias de maiores vazões de esgotos coincidem com os dias de maiores índices pluviométricos.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

Avaliar o impacto da água de chuva na vazão afluente à Estação de Tratamento de Esgotos ETE Norte na cidade de Palmas (TO).

1.3.2 Objetivos Específicos

- Analisar hidrogramas em tempo seco e chuvoso da ETE Norte de Palmas (TO);
- Estimar a taxa de contribuição de águas pluviais na vazão afluente à ETE e o coeficiente de variação de vazão;

- Definir a relação entre precipitação e vazão afluyente à ETE;
- Propor soluções para reduzir impacto da vazão pluviométrica na ETE.

1.4 JUSTIFICATIVA

O lançamento de água de chuva na rede coletora de esgoto traz sérios problemas para a estação de tratamento, visto que aumenta o volume de efluente a ser tratado. Muitas vezes esse aumento de volume é tão grande que o sistema pode entrar em colapso, ocorrendo extravasamento ou o lançamento do efluente sem que tenha atingido os parâmetros de qualidade exigidos pela legislação, devido a ETE não ser dimensionada para o aporte de água de chuva. O esgoto lançado no corpo receptor sem o devido tratamento ocasiona problemas ambientais e de saúde pública.

Desse modo, torna-se imprescindível conhecer a influência de águas pluviais na vazão afluyente às ETEs, para criar subsídios na tomada de decisão quanto a necessidade de ações mitigadoras desse aporte.

Baseando-se nesse contexto, busca-se com este trabalho, conseguir mensurar o impacto dessa contribuição indevida na vazão afluyente à Estação de Tratamento de Esgotos Norte da cidade de Palmas (TO), tendo em vista a inexistência de realização de pesquisas semelhantes no sistema de Palmas (TO), e também a importância de se conhecer a contribuição desse fenômeno que lamentavelmente acontece.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo pretende-se analisar as referências bibliográficas que norteiam a realização desta pesquisa. Primeiramente, introduz-se assuntos básicos para o entendimento da proposta da pesquisa. Em um segundo momento, define-se e diferencia-se os tipos de sistemas de esgotamento sanitário. Posteriormente, discorre-se a respeito dos seguintes assuntos: parâmetros de projeto de rede coletora de esgotos; aporte de águas pluviais em sistemas de esgotamento sanitário, onde serão apresentados dados a respeito de pesquisas semelhantes feitas em outras cidades, dando-se ênfase aos problemas ocasionados, causas e métodos de identificação, e possíveis soluções. Por fim, será feita apresentação da ETE Norte, objeto de estudo deste trabalho.

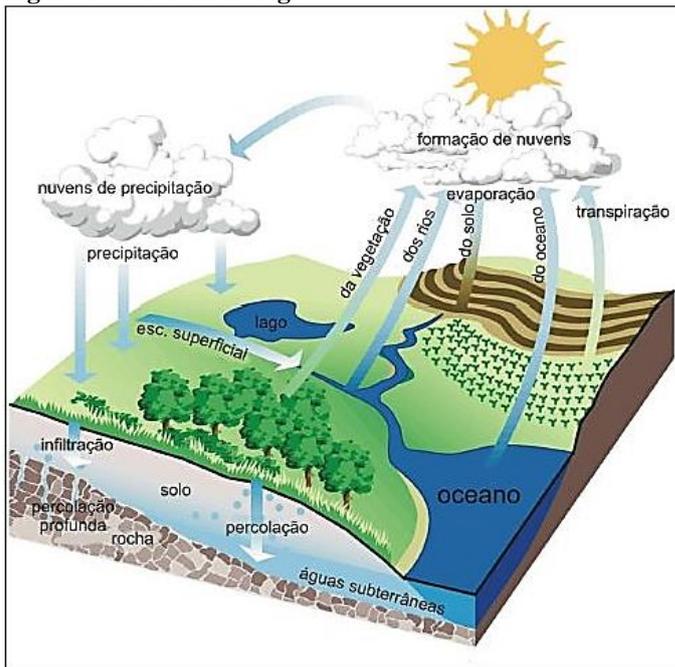
2.1 A ÁGUA E SEU CICLO

Segundo Von Sperling (1996), a água é o constituinte inorgânico mais abundante na matéria viva: no corpo humano representa 60% do seu peso, e em certos animais aquáticos essa representatividade pode chegar a 98%. Azevedo Netto et al. (1973 apud BERTOLINO, 2013) argumentam que só o oxigênio é tão essencial aos animais e vegetal quanto a água.

Segundo Paz (2004), o homem vem modificando o meio em que vive, de modo à “adequá-lo” às suas necessidades, o que repercute em sensíveis alterações do ciclo hidrológico. Como exemplo, pode-se citar o barramento de rios, que modifica o regime de escoamento, aumenta a evaporação – devido ao aumento da área da superfície dos rios – e eleva o nível das águas subterrâneas (lençol freático). Outro exemplo é a impermeabilização do solo devido à urbanização, o que diminui a parcela infiltrada e aumenta o escoamento superficial, causando alagamentos.

Conforme Von Sperling (1996), a água possui um ciclo, denominado ciclo hidrológico. O ciclo hidrológico representa o movimento contínuo da água presente nos oceanos, continentes (superfície, solo e rocha) e na atmosfera. Esse movimento é alimentado pela força da gravidade e pela energia do Sol, que provocam a evaporação das águas dos oceanos e dos continentes. A Figura 1 ilustra as etapas do ciclo hidrológico.

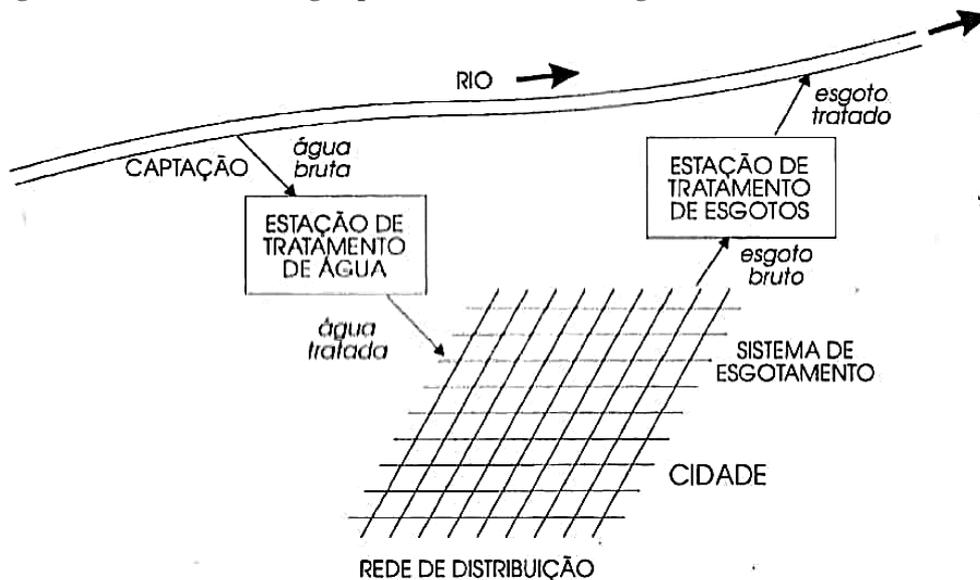
Figura 1 – Ciclo hidrológico.



Fonte: Paz (2004).

Além do ciclo hidrológico a água possui outros ciclos, a exemplo do ciclo de uso. Nesse ciclo a água continua em seu estado líquido só que passa por transformações em suas características, resultantes de sua utilização. A exemplo de ciclo de uso temos: abastecimento urbano, irrigação, aquicultura, geração hidroelétrica, lazer, etc. (PAZ, 2004). A Figura 2 ilustra um ciclo de uso, composto de sistema de abastecimento de água e sistema de esgotamento.

Figura 2 – Ciclo de uso de água para abastecimento de água.



Fonte: Von Sperling (1996).

2.2 PRECIPITAÇÃO

De acordo com Paz (2004), a precipitação é caracterizada como qualquer forma de água proveniente da atmosfera que atinge a superfície terrestre, como, por exemplo, chuva, neve, orvalho, granizo, geada, etc. O que diferencia as várias formas que a precipitação se apresenta é o estado em que a água se encontra.

2.2.1 Coleta de dados pluviométricos

A quantidade de precipitação pluviométrica pode ser quantificada pontualmente, através de dois instrumentos meteorológicos - o pluviômetro e o pluviógrafo – e especialmente, através de radares (STUDART, 2006 apud KUCHLER et al.,2010). O referido autor destaca que a principal diferença entre pluviômetro e pluviógrafo é que o primeiro necessita de leituras manuais a intervalos de tempo fixo, enquanto que o pluviógrafo, registra automaticamente os dados.

O pluviômetro é um aparelho com uma superfície de captação horizontal e um depósito para acumular a água recolhida ligado a essa área de captação. A orientação de unidade adotada é o milímetro, que tem correspondência com a queda de um litro de água por metro quadrado da projeção da superfície terrestre (SILVA, 2008 apud MACIEL, 2017).

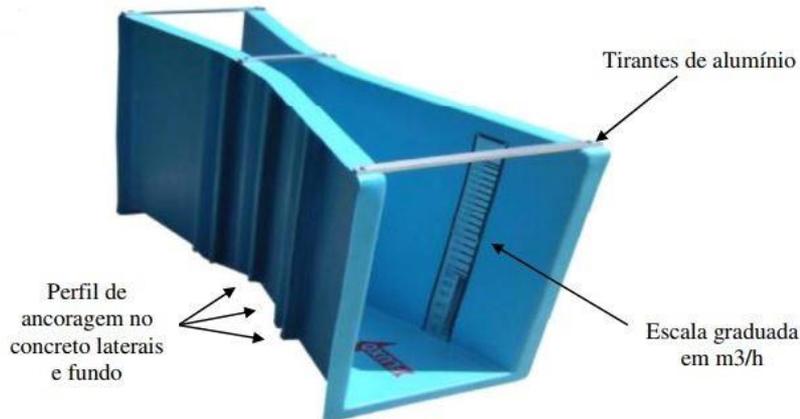
2.3 DETERMINAÇÃO DE VAZÕES EM ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTOS

De acordo com Martins (1976 apud MACIEL, 2017), entende-se por vazão o volume de água escoado na unidade de tempo a partir de uma determinada seção do curso d'água. Geralmente são expressas em metros cúbicos por segundo (m^3/s) ou em litros por segundo (l/s).

Existem inúmeros processos para determinação de vazão, dentre os quais, citam-se, para a determinação de vazões em ETEs, a determinação por calha Parshall e a medição com utilização de sensores por efeito Doppler (ELIAS, 2009).

A Calha Parshall, dispositivo mais utilizado para determinação de vazões de esgotos no Brasil, é um dispositivo de medição de vazão na forma de um canal aberto com dimensões padronizadas. Nele, a água é forçada por uma garganta relativamente estreita, sendo que o nível da água a montante da garganta é o indicativo da vazão. A seguir, são apresentadas a Figura 3 e a Figura 4, onde é mostrado a configuração de uma calha Parshall.

Figura 3 – Elementos de uma calha Parshall



Fonte: Imagem da internet. ¹

Figura 4 – Calha Parshall instalada.



Fonte: Imagem da internet. ²

2.4 SISTEMA DE ESGOTO SANITÁRIO

Com a implantação de um sistema público de abastecimento de água vem a necessidade de implantação de um sistema de esgotamento sanitário, cuja finalidade é coletar, afastar e dar disposição final as águas servidas. Azevedo Netto et al. (1998) definem sistema de esgoto como sendo um conjunto de instalações que tem a finalidade de proporcionar a coleta, transporte, condicionamento e disposição final do esgoto produzido por uma comunidade.

2.4.1 Tipos de sistemas de coleta de esgotos

Segundo Festi (2005), um sistema de esgotamento sanitário urbano pode ser de três tipos:

- Sistema unitário ou combinado;
- Sistema separador parcial;
- Sistema separador absoluto.

¹ Disponível em <http://www.sanecomfibra.com.br/sites/default/files/catalogo_-_parshall.pdf>. Acesso em: 29 de out. de 2017

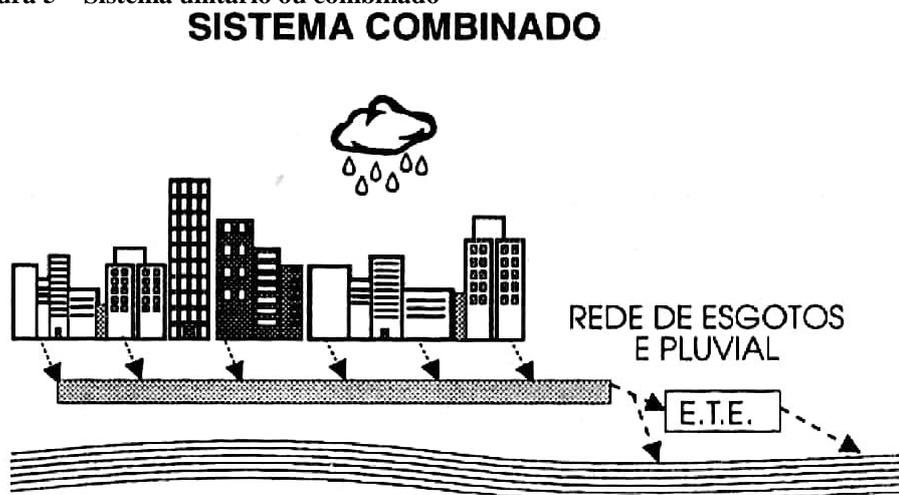
² Disponível em <<http://www.despurifil.com.br/images/paginas/9d1a3476a730192478d5feac1827241f.jpg>>. Acesso em: 29 de out. de 2017.

2.4.1.1 Sistema unitário ou combinado

Conforme Festi (2005), o sistema unitário ou combinado, muito utilizado na Europa, traduz-se na coleta e condução dos esgotos sanitários e águas pluviais juntos. Esse sistema já foi adotado na cidade do Rio de Janeiro e em cidades da época do império, hoje praticamente não existe no Brasil, os mesmos foram substituídos pelo sistema separador absoluto.

A Figura 5 apresenta o modelo de um sistema unitário.

Figura 5 – Sistema unitário ou combinado



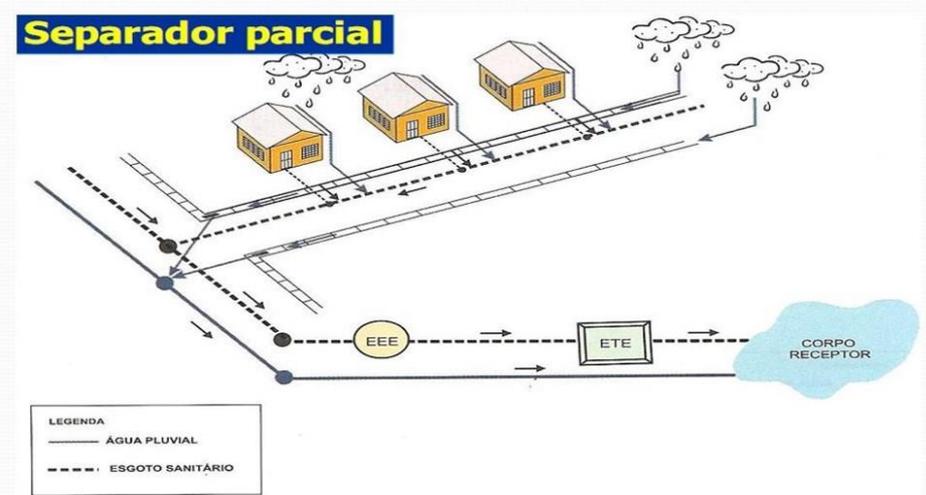
Fonte: Von Sperling (1996).

2.4.1.2 Sistema separador parcial

O sistema separador parcial, de acordo com Tsutiya e Bueno (2004), consiste na captação e condução da contribuição dos efluentes domésticos e industriais, juntamente com as águas de infiltração e a parcela de água de chuva que é proveniente de telhados e pátios das economias.

A Figura 6 apresenta o modelo de um sistema separador parcial.

Figura 6 – Sistema separador parcial



Fonte: Imagem da internet.

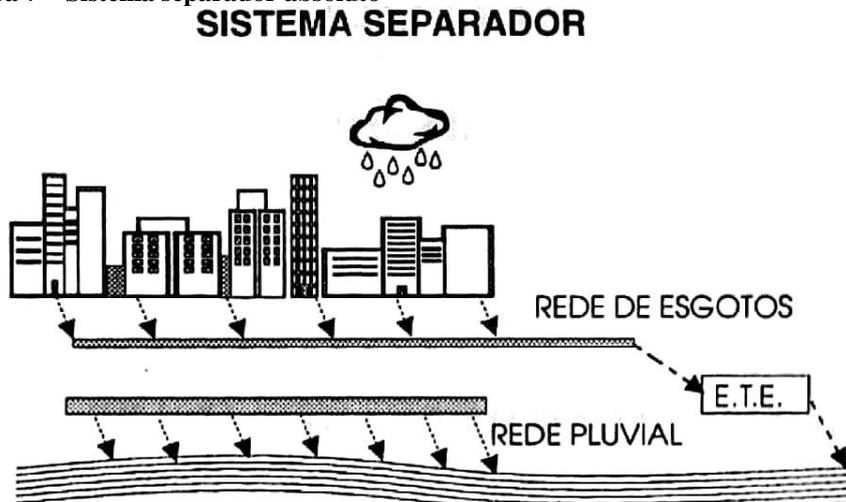
2.4.1.3 Sistema separador absoluto

O sistema separador absoluto, conforme Tsutiya e Bueno (2004) consiste no sistema que reúne as águas servidas e as de infiltração (águas freáticas que adentram a rede através das tubulações e acessórios), que compõem o esgoto sanitário, transitam em um sistema independente, chamado sistema de esgotamento sanitário. Por sua vez, a água de chuva é captada e transportada em um sistema totalmente independente, designado sistema de drenagem pluvial.

Tsutiya e Bueno (2005) ainda apontam que para o sucesso desse tipo de sistema, é imprescindível a adoção de um eficiente sistema de controle, que deverá atuar na fiscalização do lançamento indevido de água de chuva no sistema de esgoto.

A Figura 7 apresenta o modelo de um sistema separador absoluto.

Figura 7 – Sistema separador absoluto



Fonte: Von Sperling (1996).

O sistema adotado no Brasil desde 1912 é o separador absoluto, sendo a cidade de São Paulo, a primeira a adotar o sistema separador absoluto (FESTI, 2006).

A explicação para o Brasil ter escolhido trabalhar com o sistema separador absoluto, segundo Tsutiya e Bueno (2005), pode ser evidenciada ao correlacionar as vantagens desse sistema. Nesse tipo de sistema, o custo de implantação é menor, pois é utilizada uma tubulação que custa menos, devido ser empregado tubos de diâmetros menores e de fabricação industrial, a exemplo do PVC. Para a questão das águas pluviais, também se reduz o custo do distanciamento, pelo fato de que não necessitam de tratamento e podem ser lançadas no córrego mais próximo. O separador absoluto também constituirá na depuração dos esgotos sanitários, visto que nesse sistema não estará acontecendo a diluição da carga orgânica com água de chuva.

2.5 PARÂMETROS DE PROJETO DE REDE COLETORA DE ESGOTOS

A rede coletora de esgotos, tem a função de transportar as águas servidas até a estação de tratamento de esgotos. Uma rede coletora de esgoto defeituosa ou mal operada, inviabiliza o bom funcionamento de todas as unidades subsequentes que compõem o sistema de esgotamento sanitário (BRIENZA, 1987 apud PEREIRA et al., 2002).

Na elaboração de projetos de redes de esgoto sanitário, pode-se utilizar as fórmulas clássicas apresentadas por Azevedo Netto et al. (1998) em seu livro, intitulado “Manual de Hidráulica”, o qual cita as normas técnicas brasileiras.

Para estimar a vazão média de contribuição de esgoto doméstico, inicial e final, utiliza-se, respectivamente, a Equação 1 e a Equação 2, apresentadas a seguir.

$$\bar{Q}_i = \frac{p_i * q_i * C}{86400} \quad \text{Equação 1}$$

$$\bar{Q}_f = \frac{p_f * q_f * C}{86400} \quad \text{Equação 2}$$

Sendo:

\bar{Q}_i, \bar{Q}_f = Vazão de contribuição doméstica de início e fim de plano (L/s);

p_i, p_f = População de início e fim de projeto;

C = Coeficiente de retorno.

O coeficiente C (coeficiente de retorno) é a razão entre a água servida descartada na rede de esgoto sanitário e a água consumida na residência, representado pela Equação 3.

$$C = \frac{\text{vazão ou volume de água servida produzida}}{\text{vazão ou volume de água tratada consumida na residência}} \quad \text{Equação 3}$$

É recomendado pela Norma Técnica Brasileira (NBR) 9649 (ABNT, 1986a) adotar C igual a 80% do consumo de água potável.

Além da vazão de contribuição doméstica, no cálculo da vazão de contribuição da rede coletora de esgoto sanitário também deve ser considerada a contribuição de infiltração (I), proveniente da infiltração das águas do lençol freático.

A vazão advinda da contribuição de infiltração das águas freáticas, infiltra diretamente na rede coletora, devido a problemas de execução e de qualidade de matérias empregados no sistema. Esse parâmetro é estabelecido em função da extensão da rede coletora de esgoto, portanto não têm nenhuma relação com a população atendida (FESTI, 2006).

A NBR 9649 (ABNT, 1986a), recomenda adotar valor entre 0,05 e 1,0 l/s.km para a taxa de contribuição de infiltração, de acordo com as condições locais, com a natureza do subsolo, o nível do lençol freático, qualidade da execução da rede, do tipo material empregado na tubulação e o tipo de junta utilizado. A contribuição de infiltração (I), é então encontrada pelo produto da taxa de infiltração (Ti) e o comprimento (L) da rede coletora. Conforme a Equação 4.

$$I = Ti * L \quad \text{Equação 4}$$

Para o dimensionamento da rede coletora de esgoto ainda deve-se considerar possíveis contribuições singulares, que segundo a ABNT (1986b) são vazões significativas de esgotos, concentradas em um ponto da rede coletora.

Portanto, a vazão total de contribuição da rede de esgoto sanitário é a soma da vazão de contribuição doméstica, da vazão de infiltração e das vazões singulares, quando existirem. Conforme as Equações 5 e 6.

$$Qi = (k2 * \bar{Qi}) + I + \sum Qci \quad \text{Equação 5}$$

$$Qf = (k1 * k2 * \bar{Qf}) + I + \sum Qcf \quad \text{Equação 6}$$

Onde:

Q_i , Q_f = Vazão de contribuição total inicial e final (L/s);

\bar{Q}_i , \bar{Q}_f = Vazão média de contribuição inicial e final (L/s);

k_1 = Coeficiente do dia de maior consumo (1,2);

k_2 = Coeficiente da hora de maior demanda (1,5);

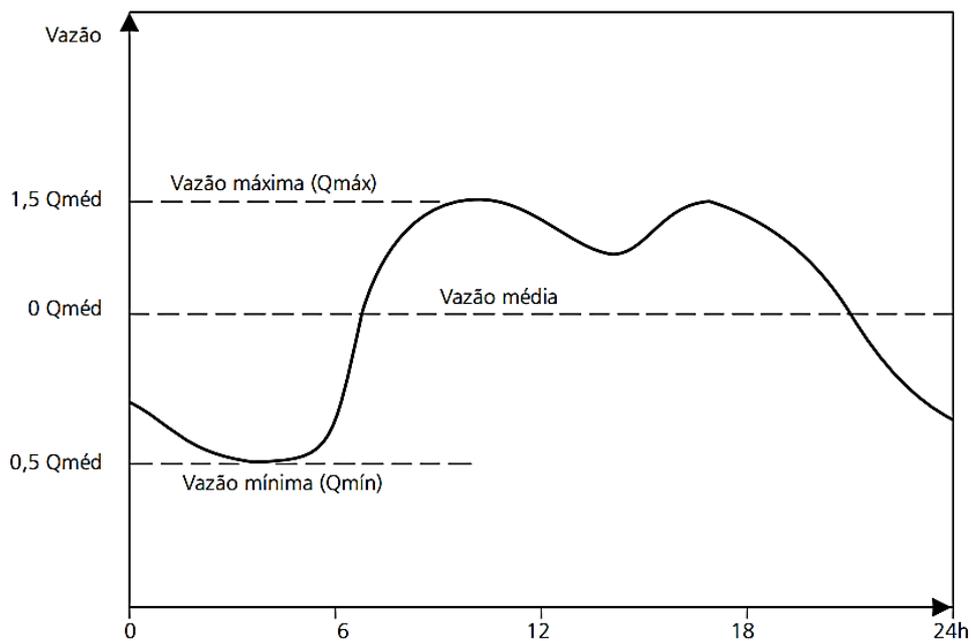
I = contribuição de infiltração (L/s*m);

$\sum Q_{ci}$, $\sum Q_{cf}$ = Somatório das contribuições singulares iniciais e finais (L/s).

Em um sistema público de esgotamento sanitário, a quantidade de esgoto gerado varia continuamente. Durante o dia, a vazão afluyente à ETE varia bastante; a vazão supera o valor médio atingindo valores máximos em torno de meio dia, horário em que ocorre o asseio corporal de grande parte da população, preparo de refeições e higienização que antecede e sucede as refeições, caracterizando a hora de maior consumo. No período noturno, o consumo cai abaixo da média, apresentando valores mínimos nas primeiras horas da madrugada, caracterizando a hora de menor consumo (ALMEIDA, 2007).

A Figura 8 apresenta um hidrograma típico de uma estação de tratamento de esgoto, onde pode-se observar a variação de vazão durante o decorrer do dia.

Figura 8 – Hidrograma típico de vazão de esgoto sanitário.



Fonte: Van Haandel et al. (1999).

Visando ponderar as variações de vazão de esgoto, foram desenvolvidos os seguintes coeficientes de variação de vazões:

- Coeficiente de máxima vazão diária (k_1): é obtido pela razão entre o maior consumo diário verificado no ano e a vazão média diária anual;
- Coeficiente de máxima vazão horária (k_2): razão entre a maior vazão observada num dia e a vazão média horária do mesmo dia;
- Coeficiente de mínima vazão horária (k_3): razão entre a vazão mínima anual e a vazão média anual.

A NBR 9649 (ABNT, 1986a) preconiza a utilização dos seguintes coeficientes de variação de vazões: 1,2 , 1,5 e 0,5. Que são correspondentes respectivamente a k_1 , k_2 e k_3 .

2.6 APORTE DE ÁGUAS PLUVIAIS EM SISTEMAS DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO

Bertolino (2013) fez um estudo acerca da contribuição da água de chuva em sistema de esgotamento sanitário na cidade de Curitiba – PR, especificamente na ETE Belém, e observou que durante o período seco essa estação de tratamento recebia um volume de esgoto de 33,89 m³ e durante período chuvoso esse volume aumentava para 101,23 m³, o que representa uma ascensão de 198,7%.

Pereira et al. (2003 apud ELIAS, 2009), devido a problemas operacionais, fizeram estudos sobre o efeito do lançamento de água de chuva na ETE Brasília Sul, no período de 2000 a 2001, e observaram uma significativa elevação de vazão. Fato também encontrado em estudos elaborados por Itonaga et al. (1994 apud ELIAS, 2009) na mesma unidade de tratamento.

Tsutiya et al. (2003) citam que a partir de 2002 a ETE Franca, localizada na cidade de Franca/SP, passou a observar a variação de vazão que chegava à ETE em decorrência de chuvas, e foi verificado aumento de vazão que chegou a atingir em seu pico 813,3 % em relação à vazão média de tempo seco.

Almeida Neto (1990 apud FESTI, 2006) em estudo realizado sobre os componentes das vazões de redes de esgoto em 7 comunidades de pequeno porte, situadas na região Nordeste do Estado de São Paulo, verificou que nos períodos chuvosos a vazão de escoamento apresentava aumento de até quatorze vezes, comparado a respectivo vazão nos períodos secos.

A Tabela 1 mostra levantamento feito por Tsutiya e Bueno (2005), onde foi observado contribuições de água pluviais variação de 26 a 283%.

Tabela 1 – Contribuição de água de chuva em redes de esgotos.

Autor	Local	Ano	Contribuição	Taxa de contribuição de águas pluviais (L/s*km)
Greeley & Hansen	São Paulo (SP)	1952	32% sobre QMPS	0,15
Des, Sursan	Rio de Janeiro (RJ)	1959	6,0 L/s.km	6,0
Hazen & Sawyer	São Paulo (SP)	1965	35% sobre QMPS	0,16
SANESP	São Paulo (SP)	1973	6,0 L/s.km	6,0
Alonso et al.	RMSP	1990	1,57 a 12,01 L/s.km	1,57 - 12,01
AMPI	Tatuí (SP)	1992	31% sobre QMPS	2,27
Pauli	São Paulo (SP)	1998	242% sobre QMPS	3,90
Mello	Santo André (SP)	2002	100 a 283% sobre QMPS	não disponível
Tsutiya e Bueno	Franca (SP)	2003	26,76 % sobre QMPS	2,13 - 2,20
Bertolino	Curitiba (PR)	2013	198,7% sobre QMPS	6,0

*QMPS = Vazão média de período seco.

Fonte: Adaptado de Tsutiya e Bueno (2005).

2.6.1 Problemas ocasionados pelas vazões incontroladas

De acordo com Azevedo Netto (1979), vazões incontroladas podem ser originadas por infiltrações, lançamento acidental ou aporte clandestino de águas pluviais. O mesmo autor ainda cita que as águas pluviais não deveriam chegar às redes de sistemas separadores absolutos, mas na verdade frequentemente chegam, não somente devido a defeitos das instalações e às ligações clandestinas, mas também pela falta de fiscalização.

Os problemas provocados por vazões parasitárias segundo Pereira et al. (2003), são decorrentes da variação de carga orgânica e vazões afluentes à estação de tratamento, e implicam em mudanças de padrões cinéticos e operacionais, trazendo consequências para o desempenho do sistema de tratamento. Segundo Itonaga et al. (1994 apud PEREIRA et al., 2003), o aporte de vazões incontroladas nas redes coletoras de esgotos sanitários acarreta os seguintes problemas no sistema de tratamento:

- Sobrecarga na fase de tratamento preliminar e primário, o que também possibilita a diminuição da biomassa na etapa de tratamento biológica;

- Arraste de material sólido, em função do mal funcionamento dos desarenadores devido sobrecarga, para as etapas subsequentes do processo de tratamento, o que pode acarretar a abrasão e o desgaste prematuro das tubulações e bombas;
- Despesas extras ligadas diretamente ao aumento da vazão afluyente, como por exemplo o consumo maior de produtos químicos e a necessidade maior de manutenções nos equipamentos;
- Necessidade de extravasamentos, devido a ETE não suportar a vazão afluyente;
- Impacto ambiental, em consequência do lançamento do efluente excedente da ETE sem tratamento adequado no corpo receptor.

Segundo Golden (1995 apud BERTOLINO, 2013), um extravasamento consiste na descarga de esgoto bruto ou parcialmente tratado a partir do sistema de esgotamento, em um corpo hídrico receptor. Normalmente acontece devido à sobrecarga do sistema, que acontece especialmente pela interlocução indevido de sistema de águas pluviais no sistema de esgotamento sanitário.

2.6.2 Causas e métodos de identificação do aporte de água de chuva

A entrada de água de chuva na rede coletora de esgotos, segundo Festi (2006), estar relacionada com a existência de ligações clandestinas de águas de chuva e pelos excessos das águas de infiltração na rede de esgoto sanitário. Seguindo o mesmo contexto, Fernandes (1997) cita que parcela da vazão transportada pelos condutores de uma rede de esgoto é resultante de infiltrações inevitáveis ao longo do conduto. Essas infiltrações acontecem em decorrência de defeitos nos componentes do sistema, através de juntas defeituosas, tubulações danificadas, poços de visitas, nível do lençol freático, permeabilidade do solo e qualidade do material empregado (ELIAS, 2009).

Em relação as ligações clandestinas, Festi (2005) cita que a execução de ligações irregulares das águas pluviais captadas nos telhados e nos quintais das residências, é originada devido à falta de informações ou conhecimento por parte da população – grande parte da população não diferencia esgoto sanitário de águas pluviais.

Outra causa para o afluxo de vazão pluviométrica na rede de esgotos e citado por Bertolino (2013), o autor aponta a deficiência do sistema de drenagem como contribuinte para a entrada de águas pluviais na rede de esgoto, segundo ele, devido a obstrução de bocas de lobo,

subdimensionamento ou inexistência de rede de drenagem pluvial, as águas de chuva alagam ruas e acabando por adentrarem à rede de esgoto, através de PVs com tampas danificadas.

Em Palmas (TO), o decreto 747/2014, que regulamenta que as águas residuais – utilizadas pela população para enchimento de piscina, irrigação de áreas verdes, lavagem de carros e calçadas entre outros – sejam lançadas na rede coletora de esgotos, contribui para aumentar ainda mais a dificuldade da população quanto a diferenciação do que pode ou não ser lançado na rede de esgotos.

Para a identificação dos imóveis irregulares quanto ao lançamento de água de chuva na rede de esgoto, Bertolino (2013) e Festi (2005), recomendam a utilização do teste de fumaça, o qual consiste na introdução de fumaça na rede coletora de esgoto. Após introdução de fumaça na rede coletora de esgoto, observa-se as calhas dos telhados, naquela que sair fumaça, ali está uma ligação clandestina. A inserção de fumaça é feita através de equipamento específico. A Figura 9 apresenta um modelo de gerador de fumaça bastante utilizado no Brasil para esse tipo de identificação.

Figura 9 – Gerador de Fumaça Power Smoker - Hurcotech.



Fonte: Imagem da internet³.

Conforme Bertolino (2013), com vistorias técnicas e o teste de fumaça, é possível identificar com certa precisão, as residências que estão interligadas ao sistema de esgotamento sanitário de forma irregular, com água de chuva sendo direcionadas a rede de esgoto.

Para identificação da ocorrência de infiltração devido a existência de componentes do sistema danificados, pode-se fazer inspeções frequentes em todo o sistema de esgotamento; em

³ Disponível em: < <http://www.nunesoliveira.com.br/>>. Acesso em: 27 nov. 2017.

relação a contribuição devido a problemas na rede de drenagem pluvial, pode ser observado a vedação de PVs nas áreas mais baixas da bacia, a fim de identificar possíveis defeitos nas tampas dos mesmos.

2.6.3 Possíveis soluções

Segundo Festi (2005), para conseguir diminuir o lançamento de água de chuva na rede de esgotos, pode-se utilizar medidas estruturais e medidas não estruturais. Por definição medidas estruturais são as que implicam na execução de obras. Já medidas não estruturais são aquelas em que se procura reduzir os danos ou as consequências, não por meio de obras, mas pela introdução de normas, regulamentos e programas.

No entender de Dias (2002), o aporte de águas pluviais na rede de esgotos através de ligações clandestinas é a mais difícil de ser identificada e controlada, pois depende principalmente da conscientização da população, que demanda um longo período mas poderá evitar que tal tipo de problema cresça com o tempo. Além de contribuir de maneira preventiva, a conscientização da população também colabora para reverter a situação atual, através da adequação das ligações incorretas já efetuadas.

A Companhia Catarinense de Águas e Saneamento (Casan), por exemplo, vem realizando inspeções domiciliares desde 2012, nas principais cidades catarinenses onde a coleta e tratamento de esgotos são de responsabilidade da companhia, por meio do Programa Se Liga na Rede.

Além disso, Festi (2005) ainda aponta para a necessidade da criação de instrumentos legais a nível estadual ou federal impedindo a prática das ligações clandestinas das águas de chuvas na rede de esgoto sanitário. Algumas cidades, a exemplo dos municípios de Ibitinga/SP e Borborema/SP preveem no Código de Obras Municipal, que a obtenção do “Habite-se”, só é possível após a comprovação pela fiscalização que as águas de chuvas são lançadas em condutos diferentes do esgoto sanitário.

2.7 ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTOS NORTE

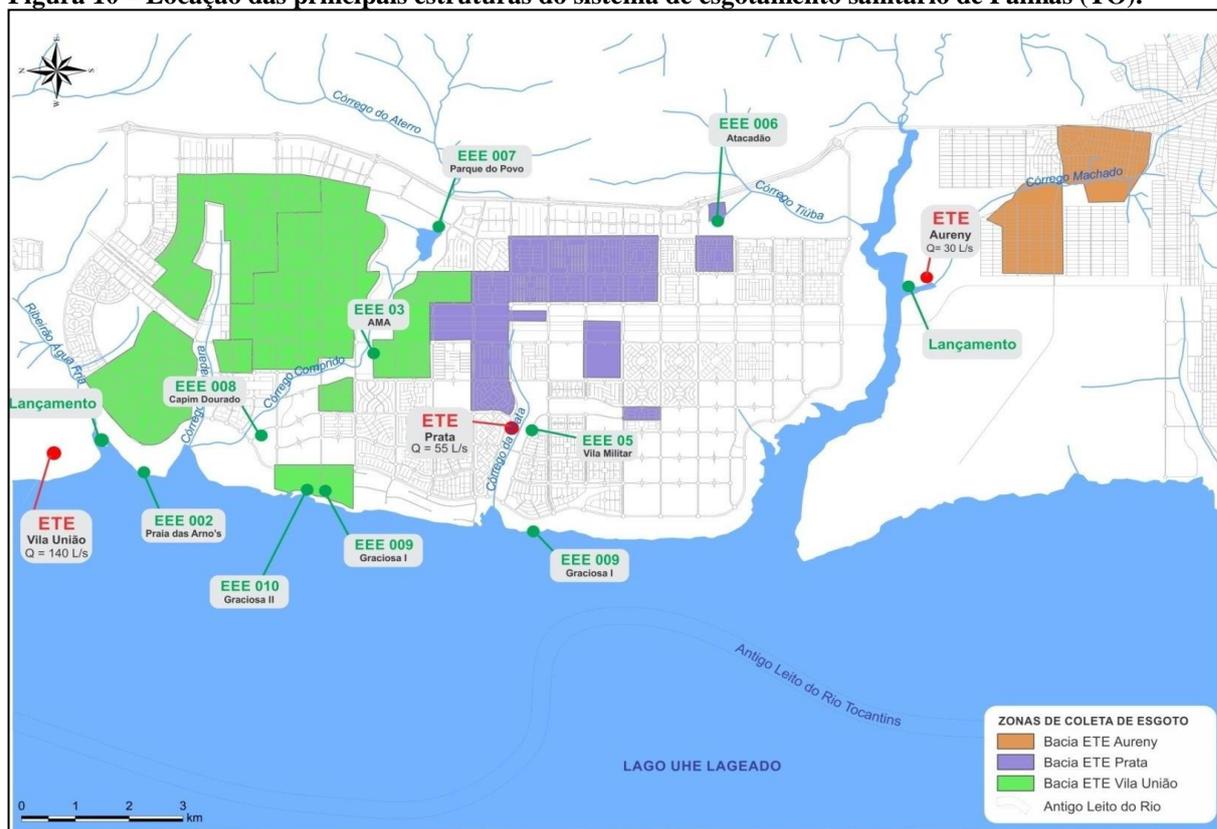
De acordo com informações da BRK Ambiental/Saneatins, o sistema de esgotamento sanitário do município de Palmas (TO) é composto por 5 Estações de Tratamento de Esgoto: ETE Norte, ETE Prata, ETE Aurenny, St. Bárbara e St. Fé, sendo que para transportar todo o esgoto gerado possui 14 estações elevatórias. Em 2014, segundo a BRK Ambiental/Saneatins,

o sistema possuía 57.431 ligações cadastradas de esgoto, atendendo 80% da população urbana da cidade, com 806.979 m de rede coletora de esgoto.

A ETE Norte, objeto de estudo deste trabalho, é a maior unidade de tratamento de Palmas (TO), e está localizada próxima ao antigo aterro sanitário de Palmas (TO). Em 2014, atendia 26.147 ligações, recebendo os esgotos das quadras 101, 102, 103 I, 104 I, 106, 108, 110, 201, 202, 203, 205, 206, 208, 301, 302, 303, 304, 305, 307, 402, 404, 405, 406, 407, 408, 502, 506, 508, 103 II, 104 II Norte, 101, 102, 103 I e II, 104, 106, 108, 110, 201, 202, 203, 204, 205, 206, 208, 210, 303, 304, 305, 306, 308, 310 (escola Técnica), 401, 402, 403, 404, 405 (Rio Tocantins e Ouro Preto), 412, 504 Sul, Praia das Arnos, Praça dos Girassóis, Orla 14.

A Figura 10 apresenta a localização das principais estruturas do sistema de esgotamento sanitário.

Figura 10 – Localização das principais estruturas do sistema de esgotamento sanitário de Palmas (TO).



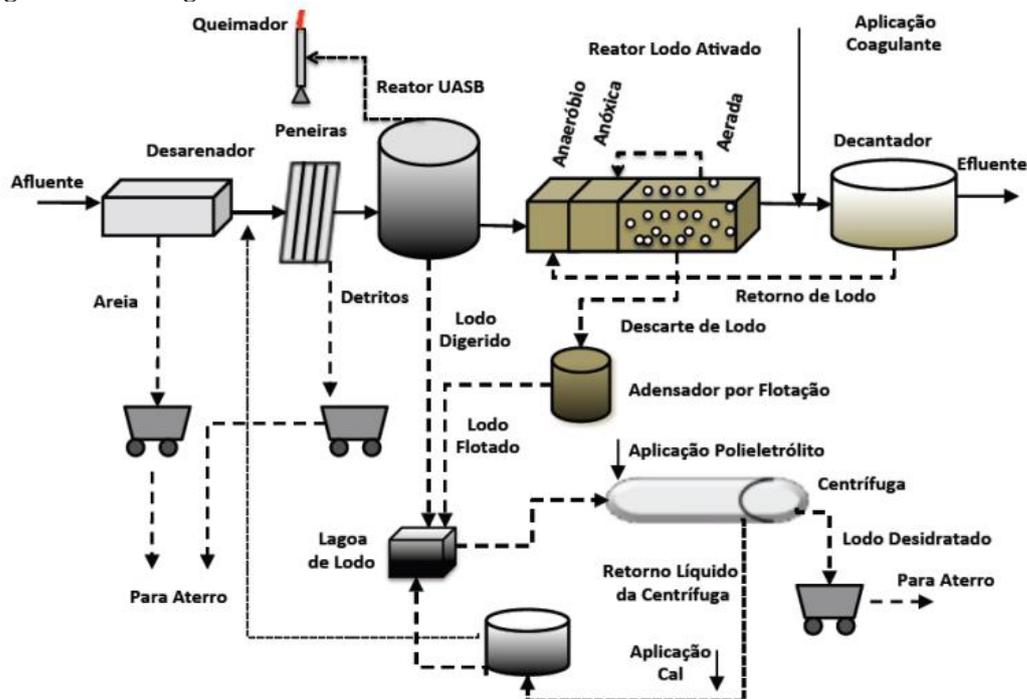
Fonte: Prefeitura de Palmas (TO) – PMSB Palmas (2014).

O sistema de tratamento adotado na estação é composto por tratamento preliminar, feito por desarenador mecanizado e grade escalar; reatores UASB em concreto armado e enterrado; reatores de Lodo Ativado com remoção biológica de nutrientes; decantadores e lagoa de lodo

onde todo o lodo é centrifugado. O efluente tratado na ETE Norte é lançado no Córrego Água Fria.

A Figura 11, apresentada abaixo, elucida através de um fluxograma todos os processos que compõem o sistema de tratamento utilizado na estação.

Figura 11 – Fluxograma do sistema de tratamento da ETE NORTE.



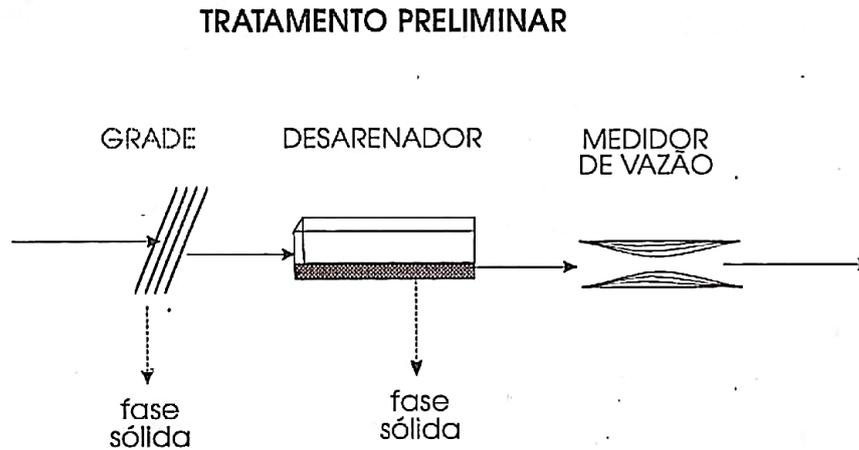
Fonte: MKMBr Engenharia Ambiental (2012 apud ALMEIDA, 2016).

2.7.1.1 Tratamento Preliminar

O tratamento preliminar objetiva a remoção de sólidos grosseiros e em suspensão tipo areia, plásticos, cabelos, papéis, e outros resíduos que adentram as tubulações devido ao uso incorreto do vaso sanitário e dos ralos. O tratamento preliminar é considerado a etapa inicial de tratamento, aplicada a montante da elevatória. Para remoção desse material é utilizado mecanismos de tratamento físico, que é constituído de tanques desarenadores e gradeamento (VON SPERLING, 1996).

A Figura 12 apresenta um fluxograma típico de tratamento preliminar.

Figura 12 – Fluxograma típico de tratamento preliminar



Fonte: Von Sperling (1996).

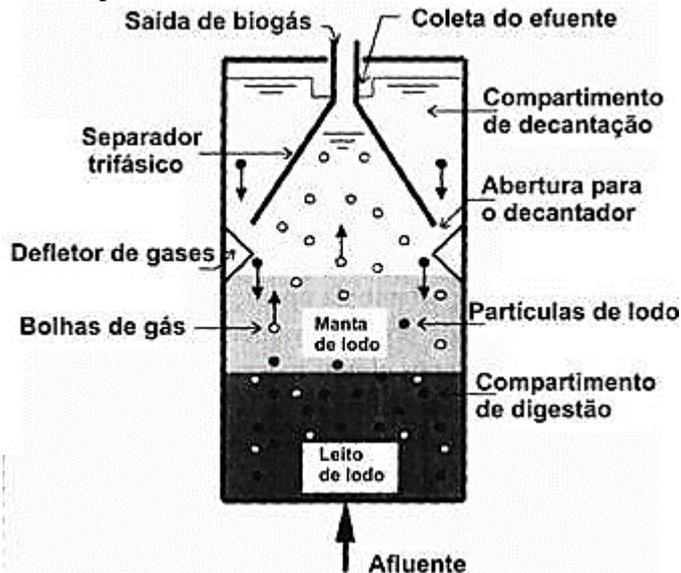
2.7.1.2 Reatores anaeróbios

É um tipo de tratamento de nível secundário, no qual predomina mecanismo biológico, ocorre por processo anaeróbio, isto é, sem oxigênio. Por vezes esse tipo de tratamento é capaz de sozinho cumprir o padrão de lançamento tal como expresso na legislação. Nos reatores anaeróbios, a matéria orgânica contida no esgoto é estabilizada por microrganismos anaeróbios que crescem dispersos no reator. O fluxo do líquido é ascendente. A parte superior dos reatores contém uma estrutura denominada separador trifásico (gás, sólido e líquido). O gás coletado pode ser reaproveitado (energia do metano), devendo ser ao menos queimado (CESAN, 2013; RECESA, 2008a; VON SPERLING, 1996).

A biomassa que desenvolve-se no sistema constitui o lodo cujo excesso é descartado frequentemente do reator e encaminhado para uma unidade de desaguamento (leito de secagem) (RECESA, 2008b).

A Figura 13 mostra os componentes internos de um reator UASB e o caminhamento feito pelos elementos do sistema.

Figura 13 – Componentes de um reator UASB e seus caminhos.



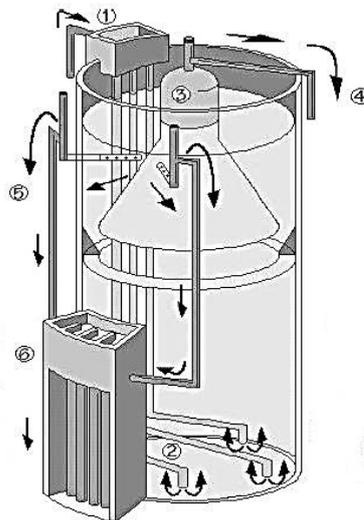
Fonte: Imagem da internet⁴.

A Figura 14 apresenta o reator UASB da ETE experimental da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). E também, uma representação esquemática indicando as partes integrante do reator, assim como indicação do sentido do fluxo.

Figura 14 – Reator UASB da ETE experimental da UFMG.



Reator UASB



Representação esquemática

- 1: caixa de entrada
- 2: tubulação de entrada do esgoto afluente
- 3: separador trifásico
- 4: tubulação de saída do biogás
- 5: tubulação de saída do efluente
- 6: caixa de distribuição do efluente

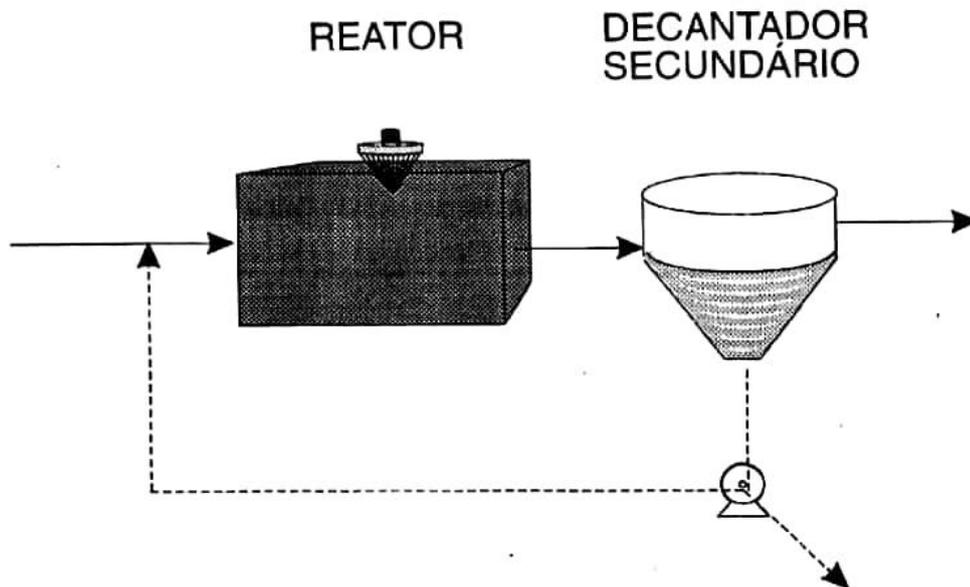
Fonte: RECESA (2008c).

⁴ Disponível em: <https://o2engenharia.com/img/stories/esgoto5_clip_image010.jpg>. Acesso em: 16 out. 2017.

2.7.1.3 Lodos Ativados

No sistema de tratamento lodos ativados, o processo de tratamento consiste na estabilização da matéria orgânica por microrganismos aeróbios. O sistema é composto por um tanque de aeração (reator), um tanque de decantação (decantador secundário) e uma elevatória de recirculação de lodo, conforme representado na Figura 15.

Figura 15 – Esquema de um sistema de lodos ativados convencional.



Fonte: Von Sperling (1996)

O sistema foi concebido após a análise de que quanto mais bactérias houver em suspensão, maior será a demanda por alimento, ou seja, maior será o consumo da matéria orgânica presente no esgoto (VON SPERLING, 1996).

O princípio básico do sistema de lodos ativados, é então, o retorno das bactérias presentes no decantador para o tanque de aeração, aumentando, assim, a concentração de bactérias nessa unidade.

O tempo de detenção do líquido é bem baixo, implicando que o volume do tanque de aeração seja bem reduzido. Devido à recirculação da biomassa, essa permanece no sistema por um tempo superior ao do líquido. Essa maior permanência de lodo no sistema é que garante a elevada eficiência do processo de lodos ativados, já que a biomassa tem tempo suficiente para degradar praticamente toda a matéria orgânica dos esgotos (VON SPERLING, 1996).

Para manter o equilíbrio desse tipo de sistema, é necessário a retirada constante de uma quantidade de biomassa próxima a que é produzida. Essa necessidade advém da constante reprodução das bactérias devido a entrada contínua de alimento, na forma de DBO. Caso fosse permitido esse crescimento indefinido da população de bactérias, elas tenderiam a atingir concentrações excessivas no tanque de aeração, dificultando a distribuição de oxigênio a todas. Além disso, haveria uma sobrecarga no decantador secundário, fazendo com que os sólidos suspensos não sedimentassem satisfatoriamente, vindo a sair junto com o efluente final (VON SPERLING, 1996).

Esse é, portanto, o lodo biológico excedente, que pode ser extraído diretamente do reator ou da linha de recirculação. Antes de receber destinação final, o lodo retirado do processo de tratamento desse deve passar por processos de estabilização e desidratação (RECESA, 2008c).

3 METODOLOGIA

O desenvolvimento deste trabalho se deu por meio de um estudo de caso realizado na Estação de Tratamento de Esgoto Norte, em Palmas (TO). O mesmo objetiva avaliar o impacto da água de chuva na vazão afluente à Estação de Tratamento de Esgoto ETE Norte na cidade de Palmas (TO).

3.1 LOCAL DE REALIZAÇÃO DA PESQUISA

O trabalho foi realizado tendo como base de estudo a Estação de Tratamento de Esgoto Norte (ETE Norte), operada pela BRK Ambiental/Saneatins, localizada no Município de Palmas (TO), nas coordenadas geográficas 10°08'50" S e 48°21'29" W. Essa ETE está em operação desde 2000, inicialmente o processo de tratamento consistia em um reator anaeróbio seguido de lagoa facultativa. Em 2013 passou por uma ampliação onde foi montado outro processo de tratamento, que consiste na associação de reatores UASB com Lodos Ativados.

A Figura 16 apresenta uma vista aérea da ETE Norte.

Figura 16 – Vista aérea da ETE NORTE.



Fonte: Google Earth (2017).

3.2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A fim de se atingir os objetivos estabelecidos, foi proposta uma metodologia composta dos seguintes itens: coleta de dados pluviométricos; coleta de histórico de vazão afluente à ETE Norte; determinação dos períodos de tempo seco e chuvoso; confecção de gráficos, tabelas e hidrogramas; estimativa da contribuição pluviométrica na vazão da ETE; estimativa da taxa de contribuição de águas pluviais; estimativa do coeficiente de variação de vazão devido ao aporte de água de chuva; definição da relação entre precipitação e vazão afluente à ETE e proposição de soluções para reduzir impacto da vazão pluviométrica na ETE.

A seguir, está a descrição de como foi desenvolvido cada item que compõe a metodologia proposta.

3.2.1 Coleta de dados pluviométricos

Os dados de ocorrências pluviométricas foram obtidos da estação do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), instalada em Palmas (TO), nas coordenadas 10°11'24.0"S e 48°18'00.0"W, próximo a quadra 112 SUL. Os períodos de tempo seco e chuvoso foram determinados conforme método de classificação de evento de chuva desenvolvido por Metcalf e Eddy (1991 apud FESTI, 2006).

Segundo Tsutiya e Bueno (2004), a classificação dos hidrogramas em tempo seco ou chuvoso é utilizada nas pesquisas realizadas no Brasil acerca da contribuição pluviométrica na vazão afluente às ETEs. Essa definição se torna necessária para determinação da vazão média de tempo seco e vazão média de tempo chuvoso.

Metcalf e Eddy (1991 apud FESTI, 2006), a partir de um levantamento de dados de eventos de chuva, desenvolveram uma classificação diária de acordo com o índice pluviométrico precipitado, classificando os dias em: dia chuvoso significativo, chuvoso não-significativo, úmido e seco, como demonstrado na Tabela 2.

Tabela 2 – Classificação de eventos de chuva.

Evento	Simbologia	Descrição
Chuvoso significativo	C	Ocorrência de precipitação total diária superior a 10 mm.
Úmido	U	Dois dias subsequentes às datas de ocorrência de qualquer evento chuvoso significativo.
Chuvoso não-significativo	N	Ocorrência de precipitação total diária inferior a 10 mm.
Seco	S	Todos os períodos que não se enquadram nos três casos anteriores e que apresentaram ocorrência de precipitação inferior a 4 mm.

Fonte: Metcalf e Eddy (1991 apud FESTI, 2006).

Nesta pesquisa, foi utilizado a metodologia de Metcalf e Eddy (1991 apud FESTI, 2006) para classificação dos dias do período de pesquisa – de 01 de janeiro de 2015 a 13 de dezembro de 2017–, para assim, determinar os dias que fariam parte do período seco e os que fariam parte do período chuvoso. Considerou-se os dias classificados como eventos secos sendo componentes do período seco e os dias classificados como eventos chuvosos significativos como pertencente do período chuvoso.

3.2.2 Coleta de histórico de vazão afluente à ETE NORTE

O histórico de vazões que chegam à ETE foi adquirido junto a BRK Ambiental/Saneatins, empresa responsável pela ETE em estudo. O medidor de vazão utilizado na ETE Norte fica na calha Parshall, e é um aparelho ultrassônico, com medição instantânea e interligada ao sistema supervisorio da sala de operação.

Os dados de vazão de esgotos, assim como os índices precipitados, foram coletados do período compreendido entre 01 de janeiro de 2015 e 13 de dezembro de 2017. Os dados foram organizados de forma a associar os eventos de chuva com os eventos do escoamento dos efluentes de esgoto medidos na calha Parshall instalada na ETE.

De posse do histórico de vazões de esgoto afluente à ETE NORTE, foi então utilizado o software Excel, da Microsoft, para organização dos dados, elaboração dos gráficos, tabelas e confecção de hidrogramas.

3.2.3 Estimativa da contribuição pluviométrica na vazão da ETE

Na metodologia citada por Tsutiya e Bueno (2004), a qual foi utilizada nesta pesquisa, a contribuição pluviométrica é calculada subtraindo-se a vazão de tempo seco da vazão de tempo chuvoso, conforme expresso na Equação 7. A Equação 8 e a Equação 9, representam, respectivamente, o percentual de contribuição pluviométrica em relação a vazão de tempo seco e a taxa de contribuição pluviométrica por km de rede coletora.

$$\bar{Q}_{cp} = \bar{Q}_{chuvoso} - \bar{Q}_{seco} \quad \text{Equação 7}$$

$$Q_{cp}\% = \left(\frac{\bar{Q}_{cp}}{\bar{Q}_{seco}} \right) * 100 \quad \text{Equação 8}$$

$$T_{cp} = \frac{\bar{Q}_{cp}}{L} \quad \text{Equação 9}$$

Onde:

\bar{Q}_{cp} = Vazão de contribuição pluviométrica (L/s);

$\bar{Q}_{chuvoso}$ = Vazão média de período chuvoso (L/s);

\bar{Q}_{seco} = Vazão média de período seco (L/s);

$Q_{cp}\%$ = Vazão de contribuição pluviométrica (%);

T_{cp} = Taxa de contribuição pluviométrica (L/s.km);

L = Comprimento da rede coletora (km).

O coeficiente de variação de vazão ($C\Delta Q$) devido a contribuição pluviométrica, foi calculado pela razão entre a vazão média de período chuvoso ($\bar{Q}_{chuvoso}$) e a vazão média de período seco (\bar{Q}_{seco}), conforme expresso na Equação 10.

$$C\Delta Q = \frac{\overline{Q}_{chuvoso}}{\overline{Q}_{seco}} \quad \text{Equação 10}$$

3.2.4 Relação entre precipitação e vazão afluyente à ETE

A relação entre precipitação e vazão afluyente à ETE, foi definida por meio de análise de correlação de Pearson. Posteriormente obteve-se uma equação relacionando-se as duas variáveis por meio de análises de regressão.

3.2.5 Soluções para reduzir impacto da vazão pluviométrica na ETE

Para subsidiar na proposição de soluções para redução do impacto de vazão pluviométrica na ETE, foram consultados artigos científicos, teses e dissertações que concentram análises em relação ao tema de estudo e que propõem soluções para o problema da vazão de água de chuva afluyente à ETEs.

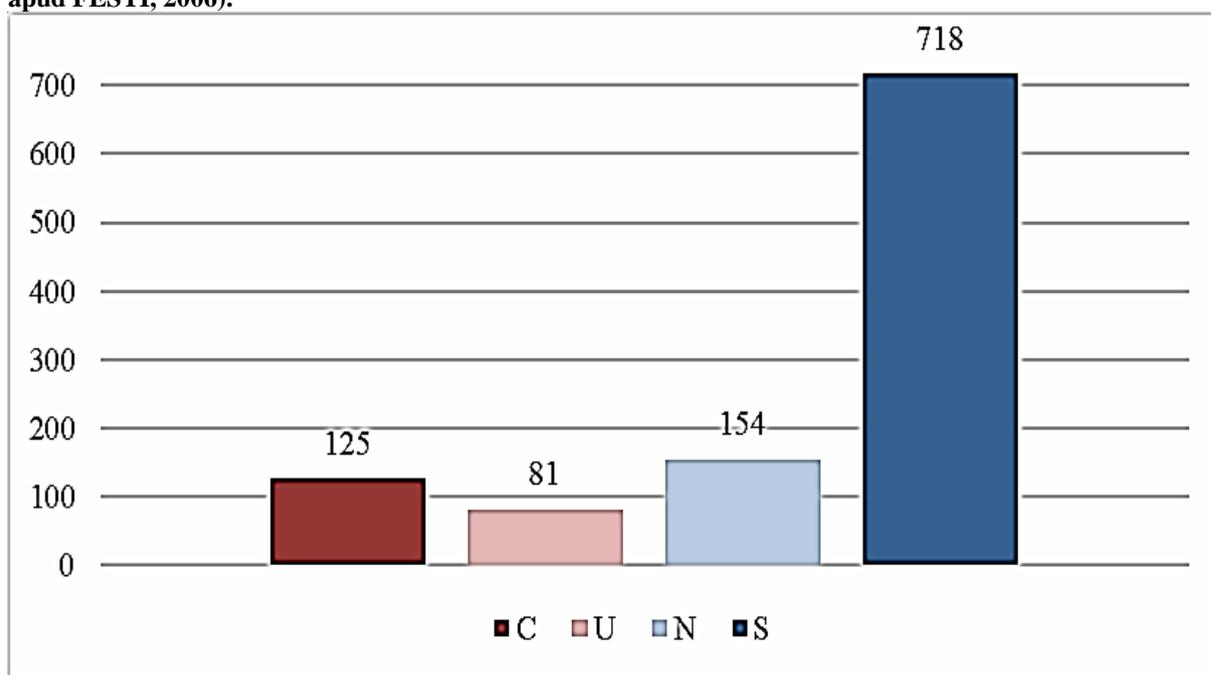
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo foram analisados os dados de chuva e de vazão de esgotos sanitários afluentes à ETE Norte. Com a interpretação, classificação e análise destes dados foi possível a identificação do período de tempo seco e do tempo chuvoso, e ainda, a confecção de hidrogramas de tempo seco e chuvoso. Após a interpretação e classificação destes eventos foram calculados, a contribuição pluviométrica na vazão da ETE; a taxa de contribuição de águas pluviais; o coeficiente de variação de vazão devido ao aporte de água de chuva; e a relação entre precipitação e vazão afluente à ETE. Por fim, foram levantadas possíveis soluções para reduzir o impacto da vazão pluviométrica na vazão que chega à ETE.

4.1 ANÁLISE DE DADOS PLUVIOMÉTRICOS

De posse dos índices pluviométricos do período de estudo, partiu-se para a classificação dos dias em eventos chuvosos significativos, chuvosos não significativos, umidos e secos. Classificação esta elaborada segundo a metodologia de Metcalf e Eddy. A seguir será apresentado o resultado desta classificação em quantidade de dias de cada tipo de evento.

Figura 17 - Registro dos eventos pluviométricos segundo metodologia proposta por Metcalf e Eddy (1991 apud FESTI, 2006).



Fonte: Elaboração própria.

Analisando os dados encontrados é possível inferir que em apenas 11,6% dos dias do período de 01 de janeiro de 2015 a 13 de dezembro de 2017 ocorreram chuvas com índices pluviométricos superiores a 10 mm. E que 66,6% dos dias do período foram secos, ou seja, sem chuva ou com chuva de até 4 mm.

Observou-se ainda, nos dados pluviométricos do período, que o evento de chuva mais significativo ocorreu no dia 18 de janeiro de 2017, evento em que ocorreu uma precipitação acumulada de 132,20 mm.

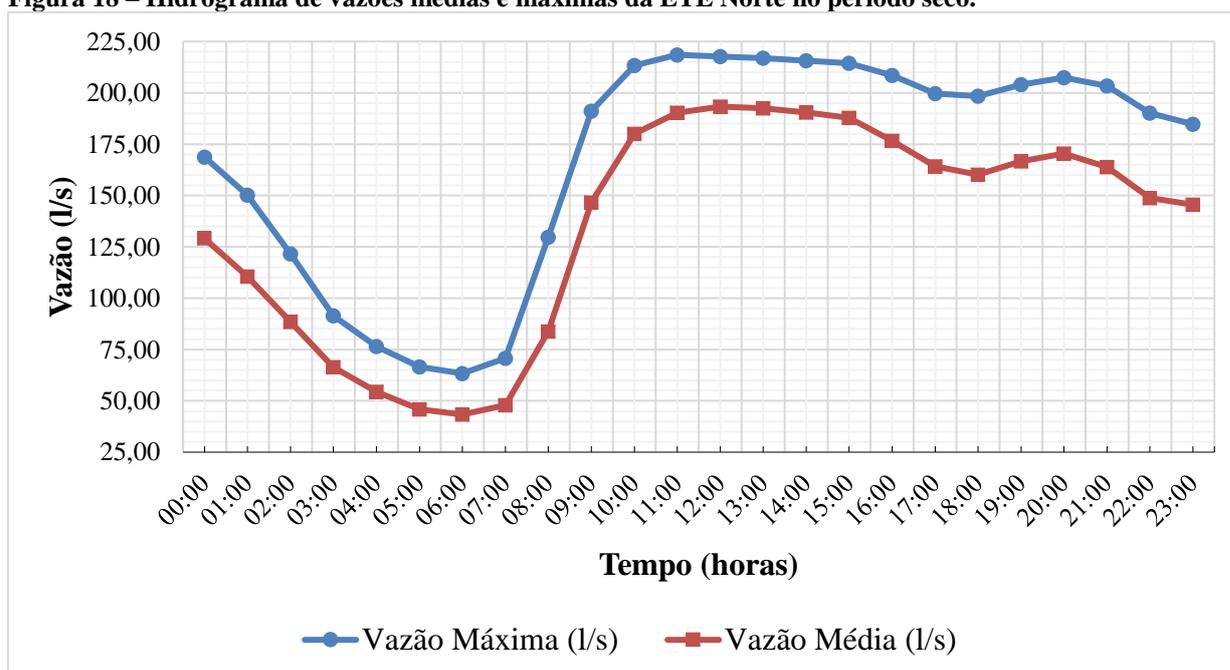
4.2 VAZÃO AFLUENTE À ETE NORTE

Para estudar ou avaliar o comportamento de um histórico de vazão com o passar do tempo, é de grande utilidade o traçado do hidrograma, que nada mais é do que um gráfico da evolução da vazão ao longo do tempo (PAZ, 2004).

Após classificar os dias do período de estudo foi então possível montar os hidrogramas de tempo seco e de tempo chuvoso. Para confeccionar os gráficos da evolução de vazão ao longo do tempo, foram utilizados dados horários de vazão afluente à ETE, em épocas secas e separadamente, em épocas chuvosas, do período de janeiro de 2015 a dezembro de 2017.

A Figura 18 mostra o hidrograma de tempo seco da ETE Norte, em que no eixo X representa a variação do tempo em horas e no eixo Y a variação da vazão em l/s.

Figura 18 – Hidrograma de vazões médias e máximas da ETE Norte no período seco.



Fonte: Elaboração própria.

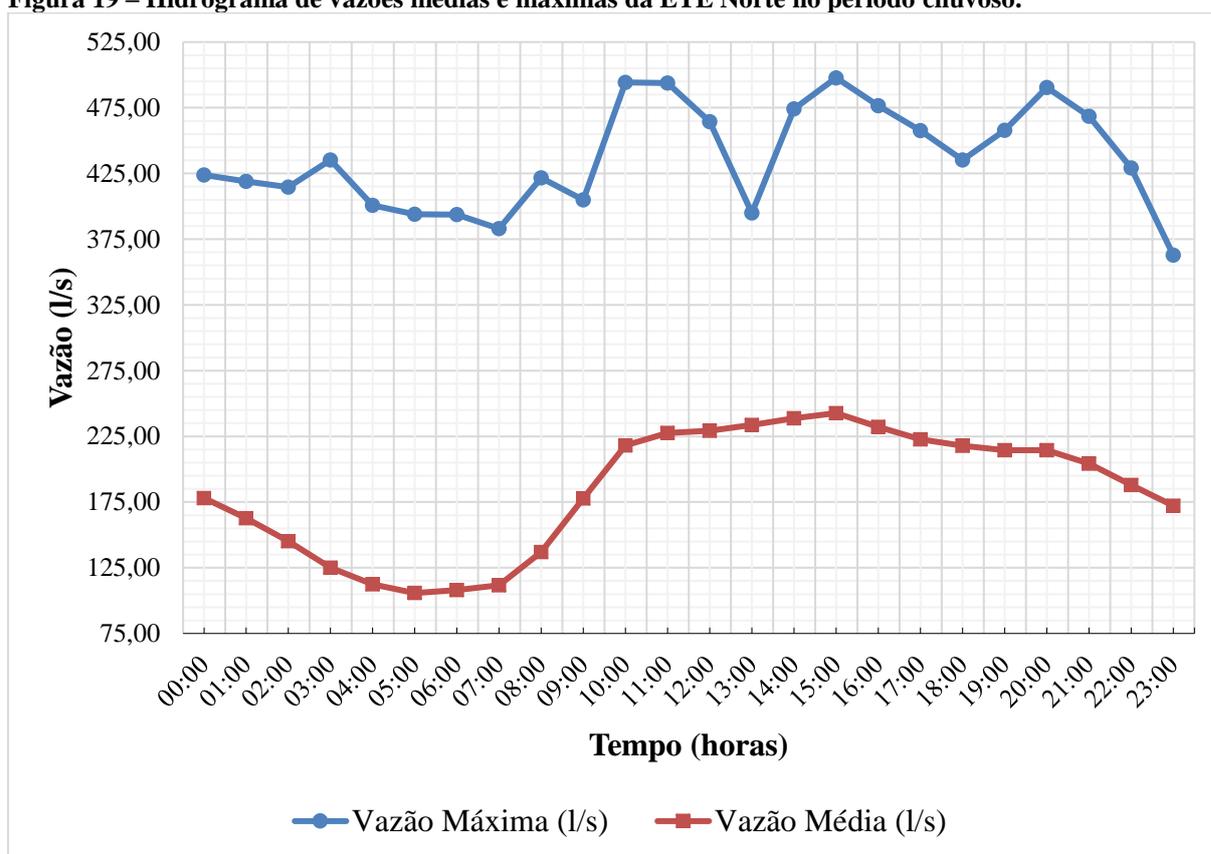
A linha em azul refere-se à vazão máxima do período de estudo em cada hora do dia, já a linha de cor vermelha refere-se à vazão média do período em cada hora do dia.

Como pôde ser visto, o hidrograma acima tem formato semelhante ao hidrograma típico mostrado na Figura 8, exposta no item 2.6 deste trabalho, evidenciando que a quantidade de esgoto gerado varia continuamente. A vazão atinge valores máximos em torno de meio dia, horário em que ocorre o asseio corporal de grande parte da população, preparo de refeições e higienização que antecede e sucede as refeições, caracterizando a hora de maior consumo. No período noturno, o consumo cai, apresentando valores mínimos nas primeiras horas da madrugada, caracterizando a hora de menor consumo.

A vazão máxima do período seco ocorreu na quinta-feira dia 18/02/2016 as 11:40, registrando-se o valor de 218,52 l/s, e a vazão média diária de período seco foi de 135,30 l/s.

Por sua vez, a variação de vazão do período chuvoso é apresentada na Figura 19.

Figura 19 – Hidrograma de vazões médias e máximas da ETE Norte no período chuvoso.



Fonte: Elaboração própria.

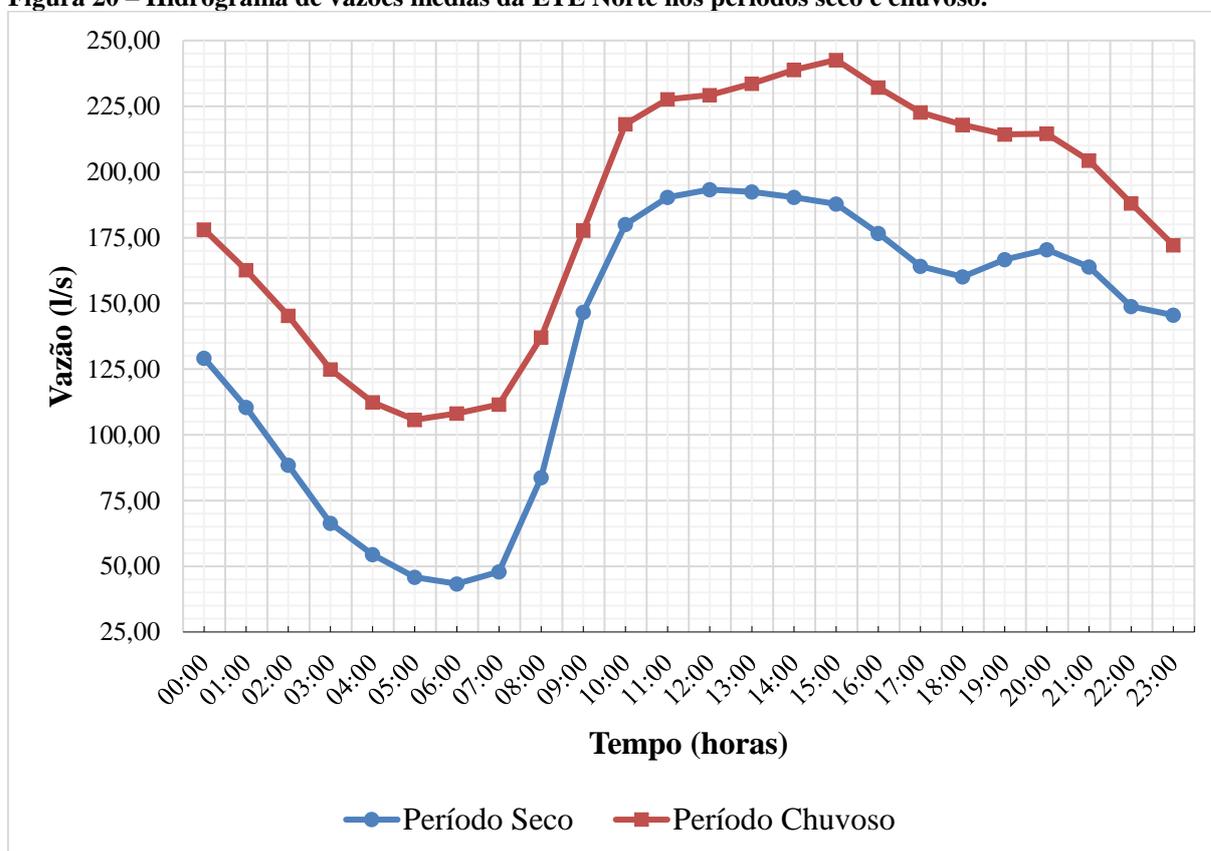
Pode ser observado, na curva de vazão máxima, que a mesma não segue o modelo típico de hidrogramas de estações de tratamento de esgotos, ou seja, nela não se tem valor mínimo de

vazão durante a madrugada – horário que tipicamente gera-se menos esgotos–, e valor máximo ao meio dia; apresentando, na verdade, curva sem grandes oscilações de vazões de esgotos incidindo na ETE. Evidenciando assim, a ocorrência de aporte indevido de água de chuva na rede coletora de esgotos.

A vazão máxima do período chuvoso ocorreu na quarta-feira dia 18/01/2017 as 15:00, quando se registrou o valor de 497,80 l/s; e a vazão média diária de período chuvoso foi de 184,16 l/s.

A seguir apresentada, a Figura 20 mostra o hidrograma elaborado com as vazões médias dos períodos seco e chuvoso.

Figura 20 – Hidrograma de vazões médias da ETE Norte nos períodos seco e chuvoso.



Fonte: Elaboração própria.

As vazões médias analisadas no hidrograma acima são referentes aos períodos seco e chuvoso do intervalo de tempo da pesquisa, compreendido de 01 de janeiro de 2015 a 13 de dezembro de 2017. Plotando juntas, as curvas de vazões de tempo seco e chuvoso, é possível perceber com mais clareza a existência de contribuição pluvial na vazão medida na entrada da ETE Norte, mostrando que o sistema de esgotamento sanitário contribuinte para a ETE Norte

de Palmas (TO) não funciona como separador absoluto, assim como inúmeros outros sistemas distribuídos pelo país, conforme pesquisas realizadas por outros autores e mostradas no capítulo 2 deste trabalho.

4.3 CONTRIBUIÇÃO PLUVIOMÉTRICA NA VAZÃO DA ETE

A contribuição pluviométrica na vazão da ETE, em l/s, foi calculada subtraindo-se a vazão média diária em tempo seco da vazão média diária de esgoto em tempo chuvoso, conforme Equação 7. E a contribuição pluviométrica em porcentagem da vazão média diária em tempo seco, conforme Equação 8.

$$\bar{Q}_{cp} = \bar{Q}_{chuvoso} - \bar{Q}_{seco} \quad \text{Equação 7}$$

$$Q_{cp}\% = \left(\frac{\bar{Q}_{cp}}{\bar{Q}_{seco}} \right) * 100 \quad \text{Equação 8}$$

Onde:

\bar{Q}_{cp} = Vazão de contribuição pluviométrica (L/s);

$\bar{Q}_{chuvoso}$ = Vazão média diária de período chuvoso (L/s);

\bar{Q}_{seco} = Vazão média diária de período seco (L/s);

$Q_{cp}\%$ = Vazão de contribuição pluviométrica em (%);

Utilizando, na Equação 7, a vazão média diária de período chuvoso de 184,16 l/s; e a vazão média diária de período seco de 135,30 l/s, obteve-se a contribuição pluviométrica média de 48,86 l/s.

$$\bar{Q}_{cp} = 184,16 - 135,30 = \mathbf{48,86 \text{ l/s}}$$

Para determinação da contribuição pluviométrica em porcentagem, utilizou-se a Equação 8, alimentando-a com o valor da contribuição pluviométrica, e a vazão média diária de tempo seco, conforme apresentado abaixo.

$$Q_{cp}\% = \left(\frac{48,86}{135,30} \right) * 100 = 36,11 \%$$

A taxa de contribuição de águas pluviais foi determinada pela relação entre a contribuição pluviométrica na vazão da ETE e a extensão total da rede coletora em km, conforme Equação 9.

$$T_{cp} = \frac{\bar{Q}_{cp}}{L} \quad \text{Equação 9}$$

Onde:

T_{cp} = Taxa de contribuição pluviométrica (L/s.km);

\bar{Q}_{cp} = Vazão de contribuição pluviométrica (L/s);

L = Comprimento da rede coletora (km).

Segundo a BRK Ambiental, empresa responsável pelo ETE em estudo, o comprimento da rede coletora de esgotos que contribui para a ETE Norte é de 1.266 km. Dessa forma, utilizando a Equação 9, a contribuição pluviométrica e o comprimento da rede coletora, encontrou-se taxa média de contribuição de águas pluviais de 0,038 l/s*km.

$$T_{cp} = \frac{48,86}{1266} = 0,038 \frac{l}{s} * km$$

O coeficiente de variação de vazão devido ao lançamento de água de chuva na rede de esgotos, por sua vez, foi determinado pela relação entre a vazão média diária em tempo seco e a vazão média diária de esgoto em tempo chuvoso, conforme a Equação 10.

$$C_{\Delta Q} = \frac{\bar{Q}_{chuvoso}}{\bar{Q}_{seco}} \quad \text{Equação 10}$$

Onde:

$C_{\Delta Q}$ = Coeficiente de variação de vazão

$\bar{Q}_{chuvoso}$ = Vazão média diária de período chuvoso (L/s);

\bar{Q}_{seco} = Vazão média diária de período seco (L/s);

Utilizando, na Equação 10, a vazão média de período chuvoso de 184,16 l/s; e a vazão média de período seco de 135,30 l/s, obteve-se coeficiente de variação de vazão igual a 1,36.

$$C\Delta Q = \frac{184,16}{135,30} = 1,36$$

Desses resultados, pode-se inferir que em média, o aporte de água de chuva contribui para o aumento da vazão de esgoto sanitário em 36,11%, ou ainda, 48,8 l/s; e que a taxa média de contribuição de águas pluviais de 0,038 l/s*km.

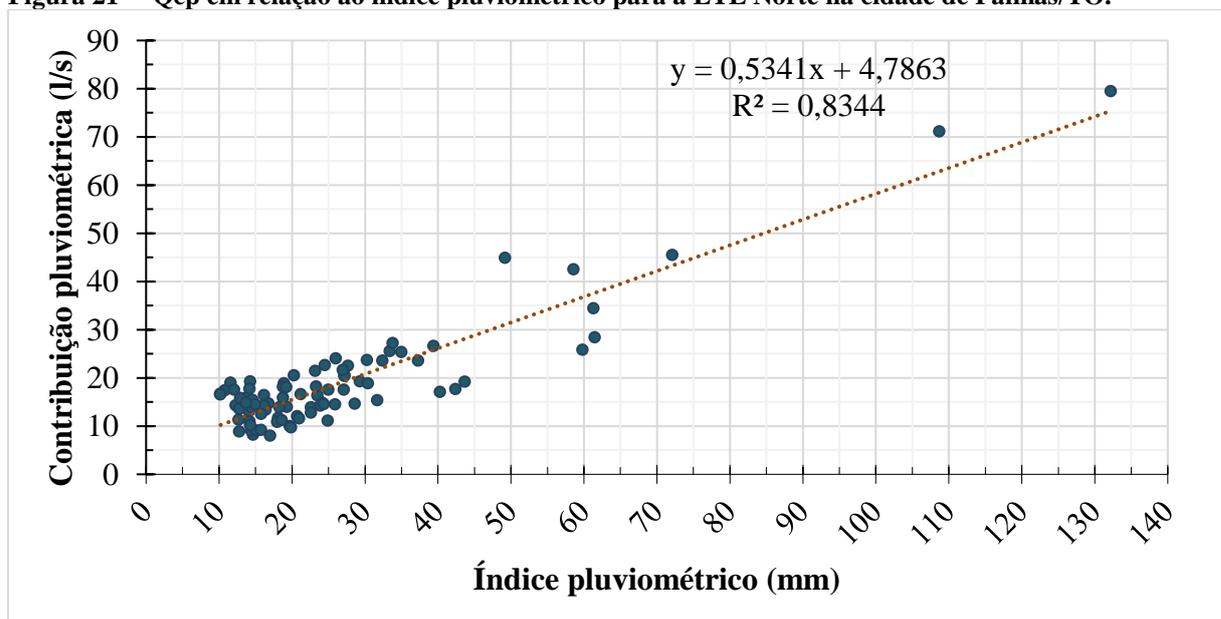
Analisou-se ainda, cada dia do período chuvoso, conforme pode ser observado no APÊNDICE A, e observou-se que a contribuição pluviométrica (Q_{cp}) sofreu variação de 5,97 a 58,72%, ou seja, variando de 8,02 a 79,45 l/s; e que a taxa de contribuição pluviométrica (T_{cp}) teve variação de 0,006 a 0,063 l/s*km.

Vale destacar que por se trabalhar com vazões médias, podem ter ocorrido picos de (Q_{cp}) bastante superiores a esses.

4.4 RELAÇÃO ENTRE PRECIPITAÇÃO E VAZÃO AFLUENTE À ETE

Para a determinação da relação entre precipitação e vazão afluente à ETE, foram calculadas as contribuições pluviométricas dos dias classificados como chuvosos – subtraído a vazão média de período seco da vazão média de cada dia do período chuvoso, conforme pode ser observado no APÊNDICE A. Posteriormente, plotou-se as Q_{cp} 's encontradas contra suas respectivas alturas pluviométricas, obtendo-se o gráfico da Figura 21.

Figura 21 – Q_{cp} em relação ao índice pluviométrico para a ETE Norte na cidade de Palmas/TO.



Fonte: Elaboração própria.

Verifica-se a elevação da Q_{cp} quando a altura precipitada se eleva. A relação linear entre Q_{cp} e altura precipitada, conforme Equação 11, apresentou coeficiente de determinação (R^2) igual a 0,8344, isto significa que 83,44% da variável dependente (y) consegue ser explicada pelos regressores presentes no modelo (x).

$$y = 0,5341x + 4,7863 \quad \text{Equação 11}$$

Analisando os resultados encontrados, pode-se observar, a aceitabilidade das duas hipóteses levantadas inicialmente. Pois de fato, água de chuva aumenta consideravelmente a vazão afluyente à ETE e os dias de maiores vazões de esgotos realmente coincidem com os dias de maiores índices pluviométricos.

4.5 SOLUÇÕES PARA REDUZIR IMPACTO DA VAZÃO PLUVIOMÉTRICA NA ETE

Para amenizar o problema da sobrecarga na rede de esgoto sanitário devido ao aporte de água de chuva na rede, são propostas, neste trabalho, ações de curto, médio e longo prazo.

4.5.1 Ações de curto prazo (contínuo)

Com o objetivo de mitigar a ligação irregular, recomenda-se a realização de campanhas de orientação da população quanto à importância da condução das águas de chuvas coletadas nos telhados e nos quintais das residências em separado das águas servidas, face ao baixo nível de educação sanitária e ambiental do povo brasileiro.

Outro ponto importante para contribuir para redução da entrada de águas parasitárias será a vedação dos PVs, dessa forma, sugere realizar-se a verificação das condições de vedação das tampas dos PVs, caso estejam permitindo a infiltração de águas da chuva, poderá ser implementado anéis de borracha. Nas áreas mais baixas pode ser utilizado tampas de vedação mais robustas como tampas articuladas para PV de alta vedação. Isso se justifica, pois são os pontos onde acumulam maior volume de água no período chuvoso. deve-se checar também as condições de vedação dos PVs e das EEEs, visando examinar e corrigir rachaduras no fundo e nas paredes dos mesmos.

Além disso, seria relevante a realização de treinamento destinado a encanadores e mestres de obra que atuam na construção civil em Palmas (TO). Conscientizando-os, sobre a importância correta das instalações sanitárias e pluviais, para melhor desenvolvimento das comunidades urbanas, garantindo saúde a população e preservando o meio ambiente.

4.5.2 Ações de médio prazo

Como ação de médio prazo, recomenda-se a realização de vistorias técnicas individuais em todas as ruas da bacia de contribuição a fim de localizar e identificar as unidades que contribuem com águas de chuvas na rede de esgoto sanitário. Para a identificação dos imóveis irregulares quanto ao lançamento de água de chuva na rede de esgoto, Bertolino (2013) e Festi (2005), recomendam a utilização do teste de fumaça, o qual consiste na introdução de fumaça na rede coletora de esgoto. Após introdução de fumaça na rede coletora, observa-se as calhas coletoras das águas de chuvas dos telhados, naquela que sair fumaça, ali está uma ligação clandestina. A inserção de fumaça é feita através de equipamento específico. A Figura 9, constante no item 2.6 deste trabalho, apresenta um modelo de gerador de fumaça bastante utilizado no Brasil para esse tipo de identificação.

Seria relevante também, a adoção de tarifação e cobrança em separado do consumo de água potável e de coleta de esgoto sanitário. No sistema praticado atualmente, a tarifa de coleta de esgoto é um percentual sobre o consumo de água – não é inibidor para a diminuição do volume de descarte de esgoto sanitário;

Além disso, também seria importante, a criação de instrumentos legais em nível estadual ou federal que impeçam a prática das ligações clandestinas das águas de chuvas na rede de esgoto sanitário. Em algumas cidades, a exemplo dos municípios de Ibitinga/SP e Borborema/SP – de acordo com dispositivo previsto no Código de Obras Municipal – a obtenção do “Habite-se” só é possível após a comprovação pela fiscalização que as águas de chuvas são lançadas em condutos diferentes do esgoto sanitário.

4.5.3 Ações de longo prazo

Além das ações de combate direto das ligações irregulares, deverá ser realizado melhoria no sistema de drenagem pluvial, tendo em vista que devido a obstrução de bocas de lobo, subdimensionamento ou inexistência de rede de drenagem pluvial, as águas de chuva alagam ruas e acabam por adentrarem à rede de esgoto.

5 CONCLUSÃO

A avaliação do aporte de águas pluviais às redes coletoras de esgotos revela-se importante devido às ligações clandestinas ao sistema consistirem em um problema da maioria dos sistemas de esgotos sanitários no Brasil, o que traz consideráveis problemas para a operação do sistema, uma vez que o efeito da mistura (águas pluviais + esgotos sanitários) repercute nas condições físicas e biológicas do tratamento.

Os principais resultados obtidos dos hidrogramas confeccionados nesta pesquisa foram que o período seco apresentou vazão média de 135,30 l/s com vazão máxima de 218,52 l/s; o período chuvoso, por sua vez, apresentou vazão média de 184,16 l/s, com vazão máxima de 497,80 l/s.

Foi observado também, que a variação da contribuição pluviométrica na vazão afluyente à ETE Norte varia de 5,97 a 58,72%, obtendo-se uma média de 36,11%, ou ainda, 48,8 l/s. Observou-se que a variação entre a vazão média dos períodos seco e chuvoso foi relativamente baixa, se comparado a valores encontrados em sistemas de outras cidades, como por exemplo o caso encontrado por Mello (2002 apud TSUTIYA E BUENO, 2005) em Santo André (SP), onde a contribuição pluviométrica variava entre 100 e 283 l/s . Por sua vez, a taxa de contribuição pluviométrica nos coletores de esgotos variou de 0,006 a 0,063 l/s*km, com média de 0,038 l/s*km.

Verificou-se que ocorre a elevação da Q_{cp} quando a altura precipitada se eleva, mostrando uma relação de proporcionalidade direta entre as duas variáveis. A relação linear entre Q_{cp} e altura precipitada, para a ETE Norte, é definida pela equação $y = 0,5341x + 4,7863$, que apresentou coeficiente de determinação (R^2) igual a 0,8344, isto significa que 83,44% da variável dependente (y) consegue ser explicada pelos regressores presentes no modelo (x), o que demonstra a forte relação entre vazão afluyente à ETE e precipitação.

Como principais ações a serem realizadas, no intuito de diminuir o impacto que o período de chuvas acarreta na operação de Estações de Tratamento de Esgotos, destacam-se, a realização de um amplo trabalho de pesquisa de ligações clandestinas de águas pluviais na rede de esgotos, onde os proprietários de imóveis irregulares quanto a ligação de águas pluviais seriam notificados, dando-lhes um prazo para correção da irregularidade, sendo imprescindível também visita posterior para checagem da situação; e a realização de abrangentes campanhas de conscientização da comunidade em relação ao lançamento em condutos separados das águas de chuvas e de esgoto sanitário.

Percebe-se que o acréscimo percentual sobre a vazão máxima em tempo seco, dependerá da atuação da prestadora de serviços de saneamento em controlar as ligações de águas pluviais no sistema de esgoto sanitário. Conforme citado por Azevedo Netto (1986), sem esse controle o sistema separador absoluto perde muito de sua razão de existir.

Com as observações e os resultados obtidos neste trabalho, conclui-se que há aumento de contribuição de esgoto afluyente à ETE Norte no período chuvoso, mostrando que o sistema de esgotamento sanitário da ETE Norte de Palmas (TO) não trabalha como separador absoluto – mesmo que dimensionado para tal –, assim como inúmeros outros sistemas distribuídos pelo país, conforme pesquisas realizadas.

Finalizando, sugere-se a realização de estudos semelhantes nas demais ETEs de Palmas (TO), com o objetivo de somar seus resultados aos obtidos neste trabalho, assim possibilitando um diagnóstico completo da influência da água de chuva na vazão de esgotos coletada pelo sistema de esgotamento de Palmas (TO).

6 REFERÊNCIAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9649/1986 - Projeto de redes coletoras de esgoto sanitário.** Rio de Janeiro. ABNT, 7p., 1986a.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9648 - Estudo de concepção de sistemas de esgoto sanitário.** Rio de Janeiro. ABNT, 5 p., 1986b.

ALMEIDA, L. I. J. DE. **Potencial de produção de biogás e energia elétrica a partir da remoção da matéria orgânica oriundo de tratamento de esgotamento sanitário na ETE NORTE – Palmas-TO,** 114 p., 2016.

ALMEIDA, S. A. B. DE. **Contribuição à aplicação de coeficientes de consumo em projetos de abastecimento de água e esgotamento sanitário em comunidades urbanas de baixa renda do Nordeste do Brasil – estudo de caso.** Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande/PB, 84 p., 2007.

AZEVEDO NETTO, J. M. Contribuições Indevidas para a Rede de Esgotos. **Revista DAE**, v. nº 120, 3 p., 1979.

AZEVEDO NETTO, J. M.; FERNANDEZ, M. F.; ARAUJO, R. DE; ITO, A. E. **Manual de hidráulica**, v. 8ª Ed., 669 p., 1998.

BERTOLINO, M. **Avaliação das contribuições de água de chuva provenientes de ligações domiciliares em sistema de esgotamento sanitário separador absoluto.** Universidade Federal Do Paraná , SENAI-PR e Universität De Stuttgart, Curitiba/PR, 129 p., 2013.

BRASIL, I. T. **Estudo Trata Brasil “Ranking do Saneamento – 2015.** Disponível em: <<http://www.tratabrasil.org.br/saneamento-no-brasil>>. Acesso em: 15/9/2017.

CESAN, C. E. S. DE S. **Apostila Tratamento de Esgoto**, 15 p., 2013.

DIAS, I. C. A. A influência das águas pluviais no sistema de esgotamento sanitário. **VI Exposição de experiências municipais em saneamento**, , n. 12, 2002.

ELIAS, S. S. **Efeito da água pluvial no processo operatório da ETE do Gama.** Universidade Católica de Brasília, 104 p., 2009.

FERNANDES, C. **Esgotos sanitários**. Ed. Univ./Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa - PB, 435 p., 1997.

FESTI, A. V. Águas de chuva na rede de esgoto sanitário – suas origens, interferências e consequências. **23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental - ABES, Campo Grande/MS**, 16 p., 2005.

FESTI, A. V. **Estimativa da infiltração e do afluxo devidos à precipitação na rede de esgoto sanitário em município de pequeno porte**, 113 p., 2006.

PAZ, A. R. DA. **Hidrologia aplicada**. Universidade Estadual do Rio Grande do Sul, Caxias do Sul - RS, 138 p., 2004.

PEREIRA, A. R.; LEAL, C. P.; PASQUALETTO, A. **Levantamento das ligações irregulares de esgoto sanitário em Rio Verde, GO**. Universidade Católica de Goiás (UCG), 15 p., 2002.

PEREIRA, C. E. B.; SOARES, S. R. A.; SAMPAIO, S. P.; BERNARDES, R. S. Efeito do aporte de águas pluviais ao sistema de esgotos sanitários: Variação da vazão afluyente à estação de tratamento de esgotos. **22º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental , Joinville/SC**, n. 1, 2003.

PREFEITURA MUNICIPAL DA CIDADE DE PALMAS – TO. **Plano Municipal de Saneamento Básico – PMSB Palmas – Volume II: Água e Esgoto**. 175p., 2014.

PREFEITURA MUNICIPAL DA CIDADE DE PALMAS – TO. **Decreto nº 747, de 24 de março de 2014 - Regulamenta os procedimentos relativos ao despejo de águas pluviais e águas residuais e adota outras providências**. 3p., 2014.

RECESA, R. DE C. E E. T. EM S. A. **Esgotamento sanitário: Operação e manutenção de sistemas simplificados de tratamento de esgotos: Guia do profissional em treinamento: nível 2**. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental (org.). – Belo Horizonte, 2008a.

RECESA, R. DE C. E E. T. EM S. A. **Esgotamento sanitário: Operação e manutenção de sistemas simplificados de tratamento de esgotos: guia do profissional em treinamento: nível 1**. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental (org.). – Belo Horizonte, 2008b.

RECESA, R. DE C. E E. T. EM S. A. **Esgotamento sanitário: Processos de tratamento de esgotos: Guia do profissional em treinamento: nível 2.** Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental (org.). – Belo Horizonte, 118 p., 2008c.

SILVA, É. V.; SILVA, E. H. B. C.; SANTOS, Q. R. DOS. Avaliação do lançamento de águas pluviais na rede de esgoto: estudo de caso no bairro serraria Brasil – Feira de Santana – BA. **XVI Seminário de Iniciação Científica - Universidade Estadual de Feira de Santana. Feira de Santana - BA**, p. 664–672, 2009.

TSUTIYA, M. T.; BUENO, R. C. R. Contribuição de águas pluviais em sistemas de esgoto sanitário no Brasil. **Seminários Redes de Esgoto Sanitários e Galerias de Águas Pluviais: Interferências e Interconexões - São Paulo**, , n. 1, 6 p., 2004.

TSUTIYA, M. T.; BUENO, R. C. R. Contribuição de águas pluviais em sistemas de esgoto sanitário no Estado de São Paulo. **23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental - ABES, Campo Grande/MS**, , n. 1, 12 p., 2005.

TSUTIYA, M. T.; BUENO, R. C. R.; CINTRA, E. DE M.; REAMI, L. Contribuição de águas pluviais em sistemas de esgotos sanitários. Estudo de caso da cidade de Franca, estado de São Paulo. **22º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental , Joinville/SC.**, 26 p., 2003.

VAN HAANDEL, A. C.; et al. **Tratamento de Esgotos Sanitários por Processo Anaeróbio e Disposição Controlada no Solo.** Programa de Pesquisas em Saneamento Básico - Prosab. Rede Cooperativa de Pesquisas, n. 1, 436 p., 1999.

VON SPERLING, M. **Introdução a qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.** 2ª ed. Belo Horizonte. Departamento de Engenharia de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFMG., 1996.

**APÊNDICE A – PLANILHA BASE PARA CRIAÇÃO DO GRÁFICO
PRECIPITAÇÃO X CONTRIBUIÇÃO PLUVIOMÉTRICA**

Data do evento de chuva	Índice pluviométrico (mm)	Q_{média do dia} (l/s)	Q_{média-p.seco} (l/s)	Q_{cp} (l/s)	Q_{cp} (%)	T_{cp} (l/s*km)
04/01/2015	19,3	149,22	135,30	13,92	10,29	0,011
06/01/2015	14,7	143,47	135,30	8,17	6,04	0,006
08/01/2015	16,2	151,71	135,30	16,41	12,13	0,013
26/01/2015	32,4	158,86	135,30	23,56	17,41	0,019
04/02/2015	12,3	149,57	135,30	14,27	10,55	0,011
07/02/2015	25,0	152,81	135,30	17,51	12,94	0,014
09/02/2015	18,9	154,14	133,30	18,84	14,14	0,015
17/02/2015	14,3	154,54	135,30	19,24	14,22	0,015
21/02/2015	22,6	149,17	135,30	13,87	10,25	0,011
28/02/2015	24,1	150,16	135,30	14,86	10,98	0,012
02/03/2015	18,1	147,01	135,30	11,71	8,65	0,009
21/03/2015	14,2	153,02	135,30	17,72	13,10	0,014
26/03/2015	16,2	148,71	135,30	13,41	9,91	0,011
16/04/2015	27,2	155,85	135,30	20,55	15,19	0,016
21/04/2015	43,7	154,49	135,30	19,19	14,18	0,015
02/05/2015	33,4	160,81	136,30	25,51	18,72	0,020
03/05/2015	13,6	151,13	135,30	15,83	11,70	0,013
07/09/2015	40,3	152,38	135,30	17,08	12,62	0,013
30/09/2015	33,8	162,51	135,30	27,21	20,11	0,021
07/10/2015	27,2	155,67	135,30	20,37	15,05	0,016
23/10/2015	37,3	158,88	135,30	23,58	17,43	0,019
31/10/2015	59,8	161,13	135,30	25,83	19,09	0,020
29/11/2015	27,7	157,82	135,30	22,52	16,64	0,018
05/12/2015	14,1	148,35	135,30	13,05	9,65	0,010
18/12/2015	18,0	146,16	135,30	10,86	8,03	0,009
27/12/2015	61,3	169,75	135,30	34,45	25,46	0,027
29/12/2015	11,6	154,31	135,30	19,01	14,05	0,015
12/01/2016	16,8	149,98	134,30	14,68	10,93	0,012
16/01/2016	10,8	152,73	135,30	17,43	12,88	0,014
19/01/2016	28,6	149,93	135,30	14,63	10,81	0,012
20/01/2016	16,4	148,69	134,30	13,39	9,97	0,011
23/01/2016	30,3	159,00	135,30	23,70	17,52	0,019
27/01/2016	21,2	151,93	135,30	16,63	12,29	0,013
28/01/2016	49,2	180,21	135,30	44,91	33,19	0,035
09/03/2016	12,9	151,10	135,30	15,80	11,67	0,012
26/03/2016	18,8	153,40	135,30	18,10	13,38	0,014

Data do evento de chuva	Índice pluviométrico (mm)	Q_{média do dia} (l/s)	Q_{média-p.seco} (l/s)	Q_{cp} (l/s)	Q_{cp} (%)	T_{cp} (l/s*km)
01/04/2016	14,4	149,25	135,30	13,95	10,31	0,011
01/04/2016	14,4	144,32	135,30	9,02	6,67	0,007
08/04/2016	29,3	154,53	135,30	19,23	14,21	0,015
09/04/2016	15,1	144,34	135,30	9,04	6,68	0,007
09/06/2016	10,2	151,94	135,30	16,64	12,30	0,013
18/09/2016	24,5	157,91	135,30	22,61	16,71	0,018
19/09/2016	14,2	146,26	135,30	10,96	8,10	0,009
23/09/2016	26,0	159,33	135,30	24,03	17,76	0,019
25/09/2016	16,2	149,49	135,30	14,19	10,49	0,011
08/11/2016	19,7	145,28	135,30	9,98	7,38	0,008
12/11/2016	24,9	146,43	135,30	11,13	8,22	0,009
13/11/2016	23,5	151,65	135,30	16,35	12,08	0,013
14/11/2016	14,6	150,73	135,30	15,43	11,40	0,012
18/11/2016	20,3	155,82	135,30	20,52	15,16	0,016
21/11/2016	22,6	148,07	135,30	12,77	9,44	0,010
25/11/2016	25,9	149,77	135,30	14,47	10,69	0,011
02/12/2016	15,0	149,75	135,30	14,45	10,68	0,011
11/12/2016	27,1	152,82	135,30	17,52	12,95	0,014
14/12/2016	72,1	180,77	135,30	45,47	33,61	0,036
27/12/2016	12,1	152,83	135,30	17,53	12,96	0,014
18/01/2017	132,2	214,75	135,30	79,45	58,72	0,063
19/01/2017	24,1	149,89	135,30	14,59	10,78	0,012
22/01/2017	61,5	163,69	135,30	28,39	20,98	0,022
27/01/2017	31,7	150,64	135,30	15,34	11,34	0,012
28/01/2017	14,3	145,47	135,30	10,17	7,52	0,008
29/01/2017	20,7	147,35	135,30	12,05	8,90	0,010
30/01/2017	42,4	152,99	135,30	17,69	13,08	0,014
02/02/2017	18,8	151,20	135,30	15,90	11,75	0,013
07/02/2017	30,4	154,17	135,30	18,87	13,95	0,015
08/02/2017	58,6	177,82	135,30	42,52	31,43	0,034
12/02/2017	12,8	148,85	135,30	13,55	10,01	0,011
12/02/2017	12,8	144,13	135,30	8,83	6,53	0,007
14/02/2017	15,8	147,77	135,30	12,47	9,22	0,010
14/02/2017	15,8	144,50	135,30	9,20	6,80	0,007
24/02/2017	23,3	153,52	135,30	18,22	13,46	0,014
10/03/2017	12,7	146,61	135,30	11,31	8,36	0,009
28/03/2017	27,0	156,92	135,30	21,62	15,98	0,017
30/03/2017	35,0	160,62	135,30	25,32	18,71	0,020
02/04/2017	21,0	146,88	135,30	11,58	8,56	0,009
04/04/2017	19,9	144,99	135,30	9,69	7,16	0,008

Data do evento de chuva	Índice pluviométrico (mm)	Q_{média do dia} (l/s)	Q_{média-p.seco} (l/s)	Q_{cp} (l/s)	Q_{cp} (%)	T_{cp} (l/s*km)
06/04/2017	18,3	149,22	135,30	13,92	10,29	0,011
20/04/2017	23,9	149,55	135,30	14,25	10,53	0,011
27/04/2017	17,0	143,32	134,30	8,02	5,97	0,006
13/05/2017	13,7	150,13	135,30	14,83	10,96	0,012
01/11/2017	18,6	146,53	135,30	11,23	8,30	0,009
03/11/2017	10,2	151,86	135,30	16,56	12,24	0,013
11/11/2017	108,7	206,44	135,30	71,14	52,58	0,056
02/12/2017	39,4	161,91	135,30	26,61	19,67	0,021
05/12/2017	19,2	153,34	135,30	18,04	13,34	0,014
06/12/2017	23,2	156,77	135,30	21,47	15,87	0,017
11/12/2017	24,4	149,88	135,30	14,58	10,78	0,012