



UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE

FACULDADE DE ENGENHARIA

CURSO DE LICENCIATURA EM ENGENHARIA CIVIL

**ANÁLISE DE SISTEMAS DE GESTÃO DE ÁGUAS RESIDUAIS EM ESCOLAS
LOCALIZADAS EM ZONAS COM SOLOS DE BAIXA PERMEABILIDADE E
ELEVADO LENÇOL FREÁTICO**

Estudo de caso: Escola Secundária Eng.º Filipe Jacinto Nyusi

Márcia Bartolomeu Cuna

Supervisor:

Prof. Dr. Nelson Pedro Matsinhe, Eng.º.

Maputo, Março de 2024



UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE

FACULDADE DE ENGENHARIA

CURSO DE LICENCIATURA EM ENGENHARIA CIVIL

**ANÁLISE DE SISTEMAS DE GESTÃO DE ÁGUAS RESIDUAIS EM ESCOLAS
LOCALIZADAS EM ZONAS COM SOLOS DE BAIXA PERMEABILIDADE E
ELEVADO LENÇOL FREÁTICO**

Estudo de caso: Escola Secundária Eng.º Filipe Jacinto Nyusi

Márcia Bartolomeu Cuna

Supervisor:

Prof. Dr. Nelson Pedro Matsinhe, Eng.º.

Maputo, Março de 2024



UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE

FACULDADE DE ENGENHARIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

TERMO DE ENTREGA DE RELATÓRIO DO TRABALHO DE LICENCIATURA

Declaro que a estudante **Márcia Bartolomeu Cuna** entregou no dia ___/___/20__ as ___
cópias do seu Trabalho de Licenciatura com a referência: _____

intitulado **Análise de sistemas de gestão de águas residuais em escolas localizadas
em zonas com solos de baixa permeabilidade e elevado lençol freático.**

Maputo, ___ de _____ de 20__

A chefe da secretaria

DICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais, Bartolomeu Cuna e Elina Nhacuongue, e irmãos, Mércia Cuna e Chelton Cuna.

.

AGRADECIMENTOS

Meu agradecimento vai a Deus, que me conheceu desde o ventre da minha mãe e me presenteou com muito. Que Deus receba toda a honra e glória devida ao Seu nome.

Agradeço a Mozal pela oportunidade que me concedeu de estagiar em suas instalações, de onde foi possível obter o presente tema de pesquisa. De forma específica, agradeço ao Dias Bande que nunca mediu os esforços e sempre acreditou no meu potencial escondido, ao Viriato Mugabi que foi meu tutor durante o tempo de estágio e ajudou-me na identificação do tema do presente trabalho e na sua realização e aos meus colegas de equipe, eng.º Gil Cumaio, Orlando Fumbanhane, Salomão Chitsembe e Tânia Jovo.

Agradeço de forma especial, ao Prof. Dr. Nelson Pedro Matsinhe, Engº primeiro por ter aceitado supervisionar-me neste trabalho de licenciatura e, por de forma simples e sábia, ter me guiado durante toda a execução do mesmo.

Agradeço ao Laboratório Geocontrole por me ter permitido realizar os ensaios em suas instalações, no âmbito do seu apoio às Universidades e estudantes moçambicanos. Agradeço, de forma específica, ao técnico Edmilson Matshinhe que com paciência e muita dedicação orientou-me em todos dos ensaios, e ao Engº Alberto Garcia que me recebeu no laboratório e simplificou todo o processo.

Agradeço a todas as instituições escolares que me receberam e permitiram-me realizar todos os trabalhos que a monografia exigia, agradeço aos directores que se dispuseram em explicar-me e esclarecer-me todas as perguntas a eles feitas.

Agradeço ao meu pai, Bartolomeu Francisco Cuna, meus irmãos, Mércia Cuna e Chelton Cuna, e meu primo, Hélder Zeca Biquimane, que sempre me apoiaram incansavelmente e deram-me suporte. Agradeço de Forma especial a minha mãe, Elina Moisés Nhacuongue, que sempre fez mais do que podia pela minha formação.

Agradeço aos meus colegas Elton Nassoro, Málik das Neves, Gullyt Mendes, Walter Abrão, Malaquias Macia e Leonildo Evaristo que sempre me apoiaram. Agradeço, de forma especial, ao Kelvin Tsandzana que me ajudou no trabalho de campo e na aquisição de alguns materiais necessários para a realização do mesmo.

A todos que, directa ou indirectamente, apoiaram-me nesta caminhada, vão os meus agradecimentos.

RESUMO

Depois do ceio familiar, a escola é o local onde os alunos passam maior parte do tempo. Por isso, a existência de condições de saneamento e higiene adequados permite manter a integridade e saúde dos alunos. Os sistemas de drenagem de águas residuais fazem parte deste elenco, saneamento, sendo assim necessário também olhar para esta questão.

Pela diversidade do relevo, das condições geográficas, geotécnicas e hidrológicas, as condições em que as escolas são construídas diferem em cada terreno em que se faz a implantação. A implantação de sistemas de gestão de águas residuais que se adequem às condições do terreno em que se pretende construir e/ou as escolas estão construídas garante de forma geral a eficiência de funcionamento deste sistema.

Este trabalho objectiva analisar o comportamento sob o ponto de vista de funcionamento dos sistemas de gestão de águas residuais implantados nas escolas localizadas em zonas com solos de baixa permeabilidade e elevado lençol freático, fazendo o levantamento dos principais problemas enfrentados nestas instituições e identificar soluções alternativas que podem ser empregues nestas situações.

O estudo baseou-se em entrevistas, realização de ensaios no laboratório e trabalhos de perfuração em campo e a revisão bibliográfica. As escolas contempladas pelo estudo fazem o uso do sistema convencional de drenagem, fossa séptica e dreno vertical. Com o estudo realizado, verificou-se que o comportamento dos sistemas difere em cada uma das instituições. O facto de os sistemas não estarem a funcionar na sua capacidade máxima influenciou no estudo. Mas, foi possível notar que alguns dos sistemas encontram-se disfuncionais e em outros verificam-se transbordos e retorno das águas residuais. Estes problemas são causados pela má utilização dos sistemas, alteração das condições de terreno e dimensionamento dos sistemas.

Cada sistema de drenagem é particular na sua forma de funcionamento e é evidente que para as condições verificadas em terreno, a exploração de outros sistemas de gestão de águas residuais diferente da solução convencional melhoraria as condições de saneamento nas escolas.

Palavras-chave: *Sistemas de Gestão de Águas Residuais, Elevado Lençol Freático, Baixa Permeabilidade.*

ABSTRACT

After family environments, schools are where students spend the majority of their time. Therefore, the existence of adequate sanitation and hygiene conditions is crucial to maintaining the integrity and health of students. Wastewater drainage systems are part of this sanitation framework, thus requiring careful consideration.

Due to the diversity of terrain relief, geographic, geotechnical, and hydrological conditions, the circumstances under which schools are built vary at each site. Implementing wastewater management systems that adapt to the specific terrain conditions where construction is planned or where schools are already built generally ensures the efficiency of the systems.

This study aims to analyse the operational behaviour of wastewater management systems implemented in schools located in areas with low permeability soils and a high-water table. It surveys the main issues faced in these institutions and identifies alternative solutions applicable to these situations.

The study relied on interviews, laboratory testing, field drilling, and literature review. The schools included in the study use conventional drainage systems, comprised of septic tank and vertical drains. Through the study, it was found that the performance of these systems varies across institutions. The fact that some systems are not operating at full capacity influenced the findings. Nevertheless, it was observed that some systems are dysfunctional, while others experience wastewater overflow and backflow. These problems stem from improper system usage, changes in ground conditions, and system sizing issues.

Each drainage system operates uniquely, and it is evident that exploring alternative wastewater management systems beyond conventional solutions would enhance sanitation conditions in schools, specially given the specific terrain conditions observed.

Keywords: *Wastewater Management Systems, High Water Table, Low Permeability.*

ÍNDICE

DICATÓRIA	I
AGRADECIMENTOS.....	II
RESUMO	III
ABSTRACT	IV
LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	X
ÍNDICE DE TABELAS	X
CAPÍTULO I: INTRODUÇÃO	1
1.1. JUSTIFICATIVA.....	1
1.2. PROBLEMATIZAÇÃO	2
1.2.1. <i>Descrição do objecto de estudo: Escola Secundária Eng.º Filipe Jacinto Nyusi.....</i>	2
1.2.2. <i>Formulação do problema.....</i>	3
1.3. OBJECTIVOS	4
1.3.1. <i>Objectivo geral</i>	4
1.3.2. <i>Objectivos específicos.....</i>	4
1.4. METODOLOGIA	4
1.5. LIMITAÇÕES DO ESTUDO.....	5
1.6. ESTRUTURA DO TRABALHO	5
CAPÍTULO II: REVISÃO DA LITERATURA.....	7
2.1. SISTEMAS DE GESTÃO DE ÁGUAS RESIDUAIS	7
2.1.1. <i>Tipos de sistemas de gestão de águas residuais.....</i>	7
2.1.2. <i>Sistemas públicos de gestão de águas residuais.....</i>	8
2.1.2.1. <i>Factores que influenciam a concepção e implantação dos sistemas públicos..</i>	9
2.1.3. <i>Sistemas privados de gestão de águas residuais domésticas</i>	9
2.1.3.1. <i>Sistemas simplificados</i>	10
2.1.3.2. <i>Fossas sépticas.....</i>	10
2.1.3.3. <i>Factores que influenciam na concepção e implantação dos sistemas privados de gestão de águas residuais</i>	16

2.1.3.4. Impactos ambientais advindos dos sistemas de tratamento de água onsite.....	26
2.1.3.5. Dispositivos complementares de tratamento de águas residuais domésticas	26
2.1.3. <i>Técnicas auxiliares no gerenciamento de águas residuais</i>	36
2.1.4.1. Reuso das águas	37
2.1.4.2. Bombeamento das águas	37
CAPÍTULO III: TRABALHO REALIZADO	38
3.1. TRABALHO DE CAMPO E LABORATÓRIO	38
3.1.1. <i>Levantamento do nível do lençol freático</i>	38
3.1.2. <i>Caracterização dos solos</i>	40
3.1.2.1. Análise granulométrica.....	40
3.1.2.2. Limites de Atterberg	40
3.2. ENTREVISTA E QUESTIONÁRIO.....	45
3.3. VERIFICAÇÃO DO SISTEMA DE DRENAGEM.....	45
3.4. ENSAIO LEFRANC	46
CAPÍTULO VI: APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS	51
4.1. ESCOLA SECUNDÁRIA DE CHINONANQUIÇA.....	51
4.1.1. <i>Características hidrológicas e geotécnicas</i>	51
4.1.2. <i>Verificação do dimensionamento dos dispositivos de drenagem</i>	53
4.1.2.1. Sistema existente.....	53
4.1.2.2. Novo sistema	55
4.1.3. <i>Entrevistas e Observações</i>	58
4.2. ESCOLA SECUNDÁRIA DA LIBERDADE	60
4.2.1. <i>Características hidrológicas e geotécnicas</i>	60
4.2.2. <i>Entrevistas e Observações</i>	65
4.3. INSTITUTO INDUSTRIAL E COMERCIAL DA MATOLA	67
4.3.1. <i>Características hidrológicas e geotécnicas</i>	67
4.3.2. <i>Entrevistas e observações</i>	71
4.4. ESCOLA SECUNDÁRIA NOROESTE II.....	73
4.4.1. <i>Características hidrológicas e geotécnicas</i>	73
4.4.2. <i>Entrevistas e observações</i>	77
CAPÍTULO V: DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	79

5.1. ESCOLA SECUNDÁRIA DE CHINONANQUILA	79
5.2. ESCOLA SECUNDÁRIA DE LIBERDADE E ESCOLA SECUNDÁRIA NOROESTE II	82
5.3. INSTITUTO INDUSTRIAL E COMERCIAL DA MATOLA	84
CAPÍTULO VI: CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	86
CAPÍTULO VII: BIBLIOGRAFIA.....	90
7.1. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	90
7.2. OUTRA BIBLIOGRAFIA CONSULTADA.....	92
ANEXO 1	A1-1
ANEXO 2	A2-1
ANEXO 3	A3-1
ANEXO 4	A4-1
ANEXO 5	A5-1

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

AASTHO	– <i>American Association of State Highway and Transportation Officials</i>
ASTM	– <i>American Society for Testing and Materials</i>
A-2-6 (2), A-3 (0), A-2-4 (0)	– Classificação dos solos segundo a norma AASTHO
c	– Comprimento da trincheira de infiltração [m]
C	– Comprimento da fossa séptica [m]
C _d	– Capitação de lamas digeridas residuais [l/(hab*dia)]
C _f	– Capitação de lamas frescas residuais [l/(hab*dia)]
C _p	– Capitação de águas residuais [l/(hab*dia)]
C1, C2, C3	– Dimensões dos compartimentos da fossa séptica [m]
d	– Diâmetro do dreno vertical [m]
D	– Diâmetro do furo do teste de percolação
d _i	– Profundidade inicial da água
Δd	– Valor médio dos últimos valores de rebaixamento do nível de água nos poços
ESEFJN	– Escola Secundária Eng ^o Filipe Jacinto Nyusi
ESL	– Escola Secundária da Liberdade
ESN2	– Escola Secundária Noroeste 2
h	– Altura útil do dreno vertical [m]
H	– Altura da fossa séptica [m]
l	– Largura da trincheira de infiltração [m]
IICM	– Instituto Industrial e Comercial da Matola
L	– Largura da fossa séptica [m]
LL	– Limite de Liquidez
LP	– Limite de Plasticidade
NH ₃	– Amônia
NO ₃	– Nitrato
P	– População
PO ₄	– Fosfato

PVC	– Policloreto de Vinila
Q_a	– Caudal acumulado [l/min]
Q_{aflu}	– Caudal afluyente ao tanque [m^3/d]
Q_c	– Caudal de cálculo [l/min]
Q_D	– Caudal de dimensionamento [m^3/d]
Q_i	– Caudal de infiltração [l/(hab*dia)]
Q_l	– Carga de sólidos afluyente [$m^3/(hab*dia)$]
R_f	– Factor de redução
R_1	– Coeficiente de redução do lodo digerido
R_2	– Coeficiente de redução do lodo em digestão
RSPDADAR	– Regulamento dos Sistemas Públicos de Distribuição de Água e Drenagem de Águas Residuais
SC, SP-SM	– Classificação dos solos segundo o Sistema Unificado
S_0	– Carga hidráulica [$m^3/(m^2*d)$]
S1, S2, S3	– Designação dos furos perfurados
t_1	– Tempo entre limpezas [dia]
t_d	– Tempo de digestão de lamas [dia]
t_r	– Tempo de retenção [dia]
T_E	– Tempo de estabilização de lodos
TI	– Taxa de infiltração
T_R	– Tempo de retenção
V	– Volume [m^3]

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. 1 – Imagem de satélite da Escola Secundária de Chinonanquila	2
Figura 1. 2 – Ilustração da situação de saneamento na Escola Secundária de Chinonanquila	3
Figura 2. 1 – Secção transversal do tanque Imhoff	15
Figura 2. 2 – Sistema de aterro filtrante.....	28
Figura 3. 1 – Materiais usados na perfuração.....	39
Figura 3. 2 – Equipamentos para determinação dos limites de Atterberg	41
Figura 3. 3 – Material para determinação do Limite de Plasticidade.....	42
Figura 3. 4 – Rolos de 3,2 mm de diâmetro para determinação do limite de plasticidade das escolas IICM e ESEFJN, respectivamente	43
Figura 3. 5 – Concha de Casagrande para determinação do Limite de Liquidez	43
Figura 3. 6 – Amostra do solo, da escola secundária de Chinonanquila, com o sulco aberto e com a união de uma distância de 13 mm do comprimento do sulco	45
Figura 3. 7 – Realização do Ensaio de Lefranc	46
Figura 3. 8 – Infiltrômetro de Anel Duplo	47
Figura 4. 1 – Tabela de Classificação usada pela Geo-Sítio	51
Figura 4. 2 – Escavação para construção dos drenos na Escola Secundária de Chinonanquila	52
Figura 4. 3 – Amostra de solo da Escola Secundária de Chinonanquila	53
Figura 4. 4 – Resultados percentuais do inquérito sobre as várias práticas de uso dos sanitários, Escola Secundária de Chinonanquila	58
Figura 4. 5 – Ilustração do transbordo no sistema de drenagem, em funcionamento, da Escola Secundária de Chinonanquila.....	59
Figura 4. 6 – Ilustração do estado do sistema de drenagem da Escola Secundária de Chinonanquila nos blocos em que o mesmo não estava em funcionamento.....	59
Figura 4. 7 – S1, S2.S3, pontos de perfuração, ESL	61
Figura 4. 8 – Um dos registos fotográficos da altura do lençol freático no primeiro furo de Sondagem, ESL	62
Figura 4. 9 – Registo fotográfico do segundo furo de Sondagem e de uma das alturas do nível freático, ESL	63
Figura 4. 10 – Um dos registos da profundidade perfurada e da altura do lençol freático no terceiro furo de Sondagem, ESL	64
Figura 4. 11 – Amostra do solo da Escola Secundária da Liberdade	64

Figura 4. 12 – Resultados percentuais do inquérito sobre as várias práticas de uso dos sanitários, Escola Secundária da Liberdade	66
Figura 4. 13 – S1, S2, S3, pontos de perfuração, IICM	68
Figura 4. 14 – Registo fotográfico do furo perfurado e de uma das alturas do lençol freático no primeiro furo de Sondagem, IICM.....	69
Figura 4. 15 – Um dos registos da profundidade perfurada e da altura do lençol freático no segundo furo de Sondagem, IICM.....	70
Figura 4. 16 – Amostra de solo, IICM	70
Figura 4. 17 – Resultados percentuais do inquérito sobre as várias práticas de uso dos sanitários, IICM	71
Figura 4. 18 – S1, S2, S3, pontos de perfuração, ESN2.....	73
Figura 4. 19 – Registo fotográfico do furo perfurado e de uma das alturas do lençol freático no primeiro furo de Sondagem, ESN2.....	74
Figura 4. 20 – Registo fotográfico do furo perfurado e de uma das alturas do lençol freático no segundo furo de Sondagem, ESN2	75
Figura 4. 21 – Registo fotográfico do furo perfurado e de uma das alturas do lençol freático no terceiro furo de Sondagem, ESN2.....	76
Figura 4. 22 – Amostra de solo da Escola Secundária Noroeste 2.....	77
Figura 4. 23 – Resultados percentuais do inquérito sobre as várias práticas de uso dos sanitários, Escola Secundária Noroeste 2.....	78

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2. 1 – Relação entre o número de utilizadores e de compartimentos da fossa séptica.....	11
Tabela 2. 2 – Relações dimensionais admissíveis numa fossa séptica	11
Tabela 2. 3 – Equivalência a um utente nos diversos tipos de edifícios	13
Tabela 2. 4 – Valores de variáveis da equação do volume da fossa séptica	14
Tabela 2. 5 – Classificações das partículas dos solos em função dos seus tamanhos	21
Tabela 2. 6 – Classificação dos solos	22
Tabela 4. 1 – Valores dos Parâmetros para o Dimensionamento do Aterro Filtrante ..	56
Tabela 4. 2 – Dimensões do Aterro Filtrante.....	57
Tabela 4. 3 – Registo das medições do NF no primeiro furo de Sondagem, ESL	61
Tabela 4. 4 – Registo das medições do NF no segundo furo de Sondagem, ESL.....	62

Tabela 4. 5	– Registo das medições do NF no terceiro furo de Sondagem, ESL	63
Tabela 4. 6	– Registo das medições do NF no primeiro furo de Sondagem, IICM.....	68
Tabela 4. 7	– Registo das medições do NF no segundo furo de Sondagem, IICM.....	69
Tabela 4. 8	– Registo das medições do NF no primeiro furo de Sondagem, ESN2	74
Tabela 4. 9	– Registo das medições do NF no segundo furo de Sondagem, ESN2	75
Tabela 4. 10	– Registo das medições do NF no terceiro furo de Sondagem, ESN2	76

CAPÍTULO I: INTRODUÇÃO

1.1. Justificativa

O saneamento é um tema de extrema importância no meio de uma comunidade/sociedade. A garantia de sistemas de saneamento significa a garantia de segurança, dignidade e estimula o desenvolvimento socio-económico. Contudo, a indisponibilidade de sistemas de saneamento traz consigo efeitos em diversas áreas, sobretudo à saúde pública, daí a necessidade de se dispor de sistemas não só funcionais, mas também eficientes.

Os problemas de drenagem de águas residuais no país têm sido visíveis, uma vez que há escassez de sistemas públicos que facilitam a drenagem e gestão das águas residuais, o que leva à implementação de sistemas isolados.

A problemática da drenagem e gestão de águas residuais agrava-se em situações de grande aglomeração, o exemplo de escolas, onde os riscos tomam outras proporções. E, quando estas escolas são construídas em locais com condições de terreno desfavoráveis, tais como: nível freático elevado, encostas, baixa permeabilidade, entre outros, a situação fica ainda mais agravada.

A distribuição de solo e da água subterrânea ao longo do país, Moçambique, é variável devido a diversidade do relevo, a frequência de ocorrência da precipitação nos diversos pontos do país e sua distribuição mineralógica. A consideração desses factores é importante na projecção de um sistema de drenagem de águas residuais.

A maioria das escolas do país, especificamente da província de Maputo, cujo sistema de drenagem de águas residuais não está ligado a rede pública fazem o uso do sistema convencional de drenagem, fossa séptica acoplado a um dreno vertical, para o tratamento e posterior deposição das águas no solo. Este aspecto traz consigo a seguinte questão: até que ponto este sistema se ajusta às diferentes condições de terreno sobre os quais é implantado?

A implantação de sistemas de gestão de águas residuais que não se adequam as condições de terreno podem condicionar o funcionamento do sistema, o que pode ocasionar a contaminação de águas superficiais e subterrâneas, condicionando o ecossistema dependendo da composição da água subterrânea, e atentar a saúde pública.

1.2. Problematização

1.2.1. Descrição do objecto de estudo: Escola Secundária Eng.º Filipe Jacinto Nyusi

A escola Secundária Eng.º Filipe Jacinto Nyusi, também conhecida como escola Secundária de Chinonanquila, localiza-se no bairro de Chinonanquila, Posto Administrativo da Matola Rio, distrito de Boane na província de Maputo. Foi construída entre os anos de 2018 a 2021 no âmbito da responsabilidade social da empresa Mozal e inaugurada em Janeiro de 2022.

A escola tem uma área de cerca de 48 284 m². É constituída por quatro (4) blocos de sala de aulas (12 salas de aula por bloco) com dois pisos, dois blocos administrativos, um auditório, uma cantina, um campo multifuncional e um campo de futebol.



Figura 1. 1 – Imagem de satélite da Escola Secundária de Chinonanquila

Fonte: Adaptado de <https://earth.google.com/web/search/Escola+Secundaria+de+Chinonanquila>

A escola conta actualmente com dois períodos de funcionamento, período da manhã e da tarde, e cerca de 5700 alunos. Cada bloco de sala de aulas contém um sistema de drenagem próprio. O sistema de drenagem adoptado consiste em uma fossa séptica, para o tratamento primário, acoplada a um dreno de infiltração vertical. Uma vez que os blocos de sala de aula são similares, as dimensões das fossas sépticas e dos drenos são as mesmas. É apresentado no anexo 3 o desenho do sistema de drenagem.

1.2.2. Formulação do problema

Nove (9) meses após a escola ter entrado em normal funcionamento, em Novembro de 2022, verificou-se o transbordo das águas nas caixas de inspecção logo a montante dos drenos de infiltração, o que passou a interferir no normal funcionamento da escola, uma vez que as águas criavam poças nos locais normalmente usados pelos alunos durante os recreios.

Seis (6) meses após a verificação do transbordo, em Junho de 2023, o problema agravou-se ainda mais, pois começou a verificar-se o transbordo nas primeiras caixas de inspecção (saída da tubagem no edifício) e, esse transbordo tem provocado um escoamento superficial ao longo do recinto da escola.

O aspecto visual com que o solo superficial ficava quando se encontrava molhado e as crateras formadas quando ele se encontrava seco, originaram a hipótese de que se tratava de um solo com algum teor argiloso.



Figura 1. 2 – Ilustração da situação de saneamento na Escola Secundária de Chinonanquila

A situação torna-se gravosa pois os alunos ficam expostos a águas que não foram devidamente tratadas o que pode propiciar a ocorrência de doenças.

A semelhança da escola Secundária de Chinonanquila, outras escolas no país, especificamente na província de Maputo, também apresentam problemas no que respeita a gestão de águas residuais. Como forma de tornar o trabalho mais abrangente e dar ao mesmo uma visão mais ampla, as escolas Secundária Noroeste II, a Escola Secundária da Liberdade e o Instituto Industrial e Comercial da Matola foram também

contempladas no estudo. Estas escolas foram escolhidas por estarem localizadas em locais que apresentam um lençol freático elevado.

Como forma de orientar a pesquisa, foi colocada a seguinte questão: quais são os principais problemas enfrentados pelas escolas localizadas em zonas com solos de baixa permeabilidade e elevado lençol freático no que concerne a gestão de águas residuais?

1.3. Objectivos

1.3.1. Objectivo geral

Caracterizar os problemas comuns de saneamento encontrados em escolas localizadas em zonas com solos de baixa permeabilidade e elevado lençol freático

1.3.2. Objectivos específicos

- Fazer o levantamento da situação de saneamento encontrada nas escolas seleccionadas;
- Identificar as causas dos problemas apresentados pelos sistemas de drenagem de águas residuais;
- Analisar as soluções alternativas disponíveis e possíveis de ser implementadas;
- Listar recomendações para os problemas da Escola Secundária de Chinonaquila.

1.4. Metodologia

Segundo Gil (2008) e Moresi (2003), esta pesquisa é classificada, quanto à natureza como sendo **aplicada**, pois objectiva gerar conhecimentos para a avaliação prática dirigidos à solução de problemas específicos; quanto a abordagem é classificada como **quali-quantitativa**, pois fez o uso de aspectos que podem assim como não podem ser traduzidos em números para classificar e analisar as informações; quanto aos objectivos é uma pesquisa **explicativa**, pois tem como preocupação identificar os factores que determinam ou que contribuem para a ocorrência dos fenómenos; e quanto ao método é classificada como um **estudo de campo** e uma pesquisa **bibliográfica**. Estudo de campo à medida que procura o aprofundamento das questões propostas e não conhecer a distribuição das características de um universo segundo determinadas variáveis, e bibliográfica à medida que foi desenvolvida a partir de material já elaborado.

Os procedimentos adoptados para a realização do trabalho são apresentados e descritos abaixo:

1. Revisão da Literatura;
2. Trabalho de campo:
 - Visitas de observação nas escolas acima mencionadas;
 - Realização de questionário aos alunos sobre o uso dos sanitários;
 - Entrevista às entidades escolares (directores e chefes do património);
 - Realização de perfurações nas escolas para a determinação do nível a que o lençol freático se encontra e colecta de amostra dos solos;
 - Realização de ensaios de caracterização, no laboratório, dos solos colhidos em campo;
3. Análise e síntese.

1.5. Limitações do estudo

- O estudo será feito somente em quatro (4) escolas, sendo três delas referentes ao lençol freático elevado e somente uma referente a baixa permeabilidade;
- O levantamento dos níveis do lençol freático foi realizado somente no período seco do ano hidrológico;

1.6. Estrutura do trabalho

O presente trabalho está dividido em sete (VII) capítulos, nomeadamente: introdução, revisão da literatura, estudo realizado, apresentação dos resultados, discussão dos resultados, conclusões e recomendações e referências bibliográficas.

Na introdução é apresentada a justificativa do trabalho, a problematização, indicação dos objectivos geral e específicos do trabalho, indicação da metodologia e limitações do estudo, e é também descrita a estrutura do trabalho.

A revisão da literatura apresenta o material teórico sobre os sistemas de drenagem de águas residuais, com maior enfoque nos sistemas *onsite* para gestão de águas residuais em locais que apresentam baixa permeabilidade e lençol freático elevado, no qual foi baseado o seguinte trabalho.

No capítulo dos trabalhos realizados, são descritos todos os trabalhos que foi necessário realizar para a materialização desta pesquisa, os materiais usados e o procedimento

seguido. Os resultados obtidos destes trabalhos são apresentados no capítulo quatro (IV), referente à apresentação dos resultados.

A discussão dos resultados é feita no capítulo cinco (V), onde é feita a sintetização de todo o trabalho realizado com vista a identificar as coisas dos problemas de saneamento vividos nas escolas, descrição da sua influência e conjugação com os sistemas alternativos que podem ser usados nestas condições. Esta discussão de resultados serve depois de base as conclusões e recomendações apresentadas no capítulo seis (VI).

CAPÍTULO II: REVISÃO DA LITERATURA

2.1. Sistemas de gestão de águas residuais

2.1.1. Tipos de sistemas de gestão de águas residuais

Águas residuais são aquelas que resultam da precipitação e da utilização humana em diversos processos. Elas são classificadas em função da sua proveniência, podendo ser: águas residuais pluviais, águas residuais domésticas e industriais.

- Águas residuais pluviais

As águas residuais pluviais, ou simplesmente águas residuais, resultam da precipitação atmosférica caída directamente no local ou em bacias limítrofes contribuintes e apresentam geralmente menores quantidades de matéria poluente, particularmente de origem orgânica (Decreto n.º 30/2003).

- Águas residuais domésticas

As águas residuais domésticas provêm de instalações sanitárias, cozinhas e zonas de lavagem de roupas e caracterizam-se por conterem quantidades apreciáveis de matéria orgânica, serem facilmente biodegradáveis e manterem relativa constância das suas características no tempo (Decreto n.º 30/2003).

- Águas industriais

As águas industriais derivam da actividade industrial e caracterizam-se pela diversidade dos compostos físicos e químicos que contêm, dependentes do tipo de processamento industrial e ainda por apresentarem, em geral, grande variabilidade das suas características no tempo (Decreto n.º 30/2003).

As condições para a concepção de sistemas de drenagem pública de águas residuais devem ser tais que assegurem o bom funcionamento global dos mesmos, preservando-se a saúde pública, a segurança dos utilizadores e das instalações e do meio ambiente (Decreto n.º 30/2003).

Os sistemas de gestão de águas residuais são classificados em públicos, que consiste em uma rede de colectores, e privados, que consiste em sistemas geridos de forma individual quer por indústrias, centros comerciais e/ou em residências.

O gerenciamento de águas residuais é normalmente feito recorrendo a rede pública de drenagem sempre que se verifique a sua existência. Quando não se dispõe de uma rede pública de drenagem, são adoptados os sistemas privados de gestão de águas residuais.

Para a garantia de um bom funcionamento dos sistemas e melhor gerenciamento das águas residuais, com o objectivo de manter as devidas condições de saneamento e da segurança pública algumas técnicas auxiliares são implementadas, tais como reaproveitamento das águas e bombagem.

2.1.2. Sistemas públicos de gestão de águas residuais

Os sistemas públicos de drenagem de águas residuais são constituídos por uma rede de colectores que integram também câmaras de visita, instalações de tratamento e dispositivos de descarga final (Decreto n.º 30/2003).

O sistema de rede de colectores enquadra-se em qualquer tipo de solo e, uma vez que a tubagem é impermeabilizada, pode ser implantada na presença de água subterrânea.

i. Concepção dos sistemas

Na concepção dos sistemas públicos de drenagem de águas residuais domésticas e industriais deve procurar-se estabelecer que o escoamento dos efluentes se faça por via gravítica de modo a favorecer a fiabilidade do sistema.

A concepção deve ser feita em função do tipo de projecto por executar, estes projectos podem ser:

- Remodelação e reabilitação dos sistemas existentes;
- Novos sistemas;
- Ampliação de sistemas existentes.

Na concepção de novos sistemas de drenagem de águas residuais em novas áreas de urbanização deve ser adoptado, preferencialmente, o sistema separativo (Decreto n.º 30/2003).

2.1.2.1. Factores que influenciam a concepção e implantação dos sistemas públicos

Antes da concepção do sistema é importante a realização de estudos preliminares que auxiliarão na avaliação da zona de implantação, tais avaliações podem variar dependendo dos regulamentos internos de cada local.

Segundo *Design and Construction of sewers* (n.d), os aspectos que devem ser tidos em conta na concepção de um sistema público de drenagem são:

- Planta do local – ajuda a ter uma visão geral dos arruamentos, localização dos poços, reservatórios e outras possíveis fontes de água potável.
- As exigências regulamentares vigentes localmente – no que diz respeito ao posicionamento das tubagens em relação aos arruamentos e outras questões técnicas estabelecidas
- Condições do subsolo – o conhecimento das condições do subsolo permite saber quais tecnologias implementar na escavação da rede.
- Localização de outros serviços implantados no subsolo – o conhecimento da localização desses sistemas ajuda na concepção de uma rede sem nenhuma interferência.
- Topografia – de modo a obter um andamento da tubagem com uma boa fiabilidade em termos de funcionamento. É de extrema importância quando se pretende implantar um sistema gravítico, tendo muita influência na disposição de cada um dos elementos do sistema.

2.1.3. Sistemas privados de gestão de águas residuais domésticas

Quando se verifica a inexistência de um sistema público de drenagem de águas residuais, sistemas individuais são adoptados.

Os sistemas privados são aqueles em que a drenagem e tratamento das águas residuais são feitos no local da sua produção (*onsite*) ou nas proximidades do mesmo. Estes sistemas são usados quando se trata de pequenos aglomerados. O sistema mais usado é o de fossas sépticas que consiste na depuração das águas e posterior lançamento em linhas de água ou infiltração no solo. Em Moçambique, o sistema de fossas sépticas usado é o individual, isto é, serve a uma habitação.

2.1.3.1. Sistemas simplificados

Em situações em que as soluções convencionais de rede de águas residuais não se revelam exequíveis, em termos de viabilidade técnico-económica, deve ser prevista a adopção de sistemas simplificados (Decreto n.º 30/2003).

De acordo com Tavares (2008), constituem sistemas simplificados de drenagem de águas os abaixo colocados:

- Sistema sob vácuo;
- Sistemas de colectores gravíticos de pequeno diâmetro;
- Sistemas a ar comprimido.

Segundo Decreto n.º 30/2003, sistemas de colectores gravíticos de pequeno diâmetro podem constituir uma solução técnica e economicamente viável nas seguintes condições:

- Em áreas de urbanização precária não providas de qualquer sistema de drenagem de águas residuais;
- Em zonas em que a drenagem de águas residuais, recorrendo a um sistema de fossas sépticas, deixa de ser eficaz;
- Em áreas em que o terreno apresenta um perfil ondulado (sucessivas elevações de pequena altura);
- Em terrenos particularmente difíceis como são, em situações extremas, os terrenos rochosos e os terrenos pantanosos.

2.1.3.2. Fossas sépticas

Fossa séptica é um processo de tratamento privado dos efluentes domésticos. Ela é constituída por um ou vários reservatórios, onde as águas residuais domésticas são mantidas, de modo a possibilitar que sejam sujeitas a uma acção mecânica, sedimentação e flotação, e a uma acção biológica, digestão anaeróbica ou fermentação séptica (Pedroso, 2008).

A fossa séptica consiste em um sistema primário de tratamento e, é acoplada a dispositivos complementares de tratamento instalados a jusante da mesma, assegurando o processo de infiltração da água no solo.

i. Tipos de fossas sépticas

As fossas sépticas podem ser de dois compartimentos ou mais compartimentos. As fossas sépticas de dois compartimentos podem ser em série ou sobrepostas (tanque Imhoff). No último, um dos compartimentos é destinado a decantação e o outro a digestão das lamas.

O número de compartimentos numa fossa séptica depende do número de utilizadores. A tabela 2.1. apresenta a relação entre o número de utilizadores e o número de compartimentos da fossa séptica:

Tabela 2. 1 – Relação entre o número de utilizadores e de compartimentos da fossa séptica

Número de compartimentos	Evacuação do efluente da fossa para massa de água significativa	Evacuação do efluente da fossa para massa de água reduzida ou para infiltração no solo
	Número de utilizadores	
2	20 a 100	>20
3	>100	≥ 20

Fonte: Adaptado de Pedroso (2008)

As fossas sépticas devem ser estanques, podem ser construídas no local ou ser pré-fabricadas. As fossas pré-fabricadas são normalmente em polietileno de alta densidade e betão e as construídas no local podem ser de betão ou alvenaria.

Para que se evite zonas mortas, sem movimento adequado dos efluentes, bem como controlar a velocidade de circulação das águas residuais no interior das fossas sépticas, algumas relações dimensionais devem ser respeitadas (Pedroso, 2008). A tabela 2.2. apresenta as relações dimensionais admissíveis.

Tabela 2. 2 – Relações dimensionais admissíveis numa fossa séptica

N.º de compartimentos	Relação C/L	Altura máxima(H) das águas (m)	Capacidade relativa entre compartimentos		
			C1	C2	C3
2	até 5/1	≥ 1,20 e ≤ 2,00	C1=2C2	C2=C1/2	–
3			C1=C2+C3	C2 = C3	C3=C2

Fonte: Adaptado de Pedroso (2008)

ii. Concepção e Funcionamento

Segundo Pedroso (2008), durante a concepção das fossas sépticas os elementos abaixo indicados devem ser observados:

- As fossas devem ser doptadas de septos à entrada e à saída, de modo a inviabilizar a saída dos elementos em flutuação e das escumas e servem também para reduzir a velocidade do afluente à entrada na fossa;
- Devem ser doptadas de ventilação, podendo a mesma ser assegurada através do sistema ou sistemas prediais de drenagem que serve.
- A tubagem à entrada da fossa séptica deve ter um diâmetro não inferior a 100 mm.
- As fossas de um e dois compartimentos devem ter duas aberturas de dimensão mínima igual a 0,60 m e de fecho hermético, um sobre a entrada e outro sobre a saída. Sendo que as fossas de três compartimentos devem ter três ou quatro aberturas com a mesma dimensão mínima e de fecho hermético, de acordo com a sua disposição sequencial.
- De modo a evitar grandes quantidades de gorduras ou de detergentes a entrar na fossa, recomenda-se a construção de caixas de gordura a montante das fossas ou o encaminhamento directo das águas saponáceas ou de lavagens aos dispositivos complementares de tratamento.
- As fossas não devem ficar enterradas a profundidades que ultrapassem os 0,50 m, de modo a garantir um acesso fácil em operações de manutenção e limpeza.
- Devem estar afastadas das edificações a que servem com um mínimo de 1,50 m.
- No caso de tubagens de água e árvores de grande porte a distância mínimo é de 3,00 m. As fossas devem ser instaladas a jusante de origens de água, estando afastadas delas na ordem dos 15 m quando se trata de poços e/ou fontes de água, no caso de solos de areias e seixos a distância deve ser de 30 m e, quando se trata de rochas fracturadas esta distância deve ser maior.

Fossas sépticas bem concebidas, dimensionadas e implantadas fornecem condições para o tratamento adequado das águas residuais, permitindo que os processos de sedimentação, flutuação e acção biológica do tipo anaeróbica ocorram.

iii. Dimensionamento

O volume das fossas sépticas é determinado recorrendo a fórmula abaixo colocada:

$$V = P * \left[(C_p * t_r) + [C_d * (t_1 - t_d)] + \left(\frac{C_f + C_d}{2} * t_d \right) \right] * 10^{-3} \quad (1)$$

Onde:

V - Volume útil da fossa séptica [m³];

P – População;

C_p - Capitação de águas residuais [l/(hab*dia)];

t_r - Tempo de retenção [dia];

C_d - Capitação de lamas digeridas residuais [l/(hab*dia)];

t_1 - Tempo entre limpezas [dia];

t_d - Tempo de digestão de lamas [dia];

C_f - Capitação de lamas frescas residuais [l/(hab*dia)].

O número de utentes para o dimensionamento de uma fossa séptica depende do tipo de edifício em que se pretende instalar a mesma. A tabela 2.3. mostra as equivalências dependendo do tipo de edifício:

Tabela 2. 3 – Equivalência a um utente nos diversos tipos de edifícios

Tipos de edifícios	Equivalências a um utente habitacional
Escolas sem dormida	3 alunos
Unidades hoteleiras	1 cama
Parques de campismo	2 pessoas
Quartéis e asilos	1 cama
Restaurantes	3 lugares
Oficinas sem refeitório	2 operários
Escritórios e estabelecimentos comerciais sem refeitório	3 funcionários
Parques desportivos sem restaurante	30 lugares

Fonte: Adaptado de Pedroso (2008)

O intervalo de valores e os valores recomendados das outras variáveis que entram no cálculo do volume da fossa séptica são apresentados na tabela 2.4:

Tabela 2. 4 – Valores de variáveis da equação do volume da fossa séptica

Variáveis	Valores limites	Valores recomendados
Volume útil (m ³)	≥ 2	≥ 2
Capitação de águas residuais (l/(hab*dia))	30 a 100	80
Capitação de lamas digeridas (l/(hab*dia))	0.08 a 0.26	0.11
Capitação de lamas frescas (l/(hab*dia))	0.30 a 1.10	0.45
Tempo de retenção (dias)	1 a 10	3 até 50 utentes
		2 até 500 utentes
Tempo entre limpezas (dias)	180 a 1000	720
Tempo de digestão de lamas (dias)	40 a 90	60

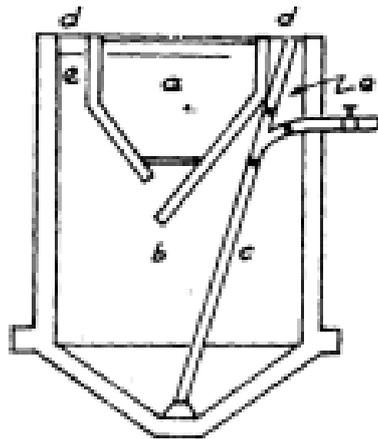
Fonte: Adaptado de Decreto n.º 30/2003

1. Tanques Imhoff

O tanque Imhoff é uma unidade de tratamento que objectiva realizar a sedimentação e digestão de sólidos, podendo ser circular ou rectangular. As suas câmaras são sobrepostas, sendo a superior destinada a decantação e a inferior a digestão do lodo (De Sousa, 2016).

De acordo com Chernicharo (1997), como citado em De Moraes Jr. (2017), o tanque sobreposto, no taque séptico com câmaras sobrepostas, tem a função de favorecer a decantação dos sólidos sem a interferência dos gases gerados na digestão anaeróbica.

A figura 2.1 apresenta a secção transversal do tanque Imhoff



- a - Câmara de sedimentação
- b - Câmara de digestão
- c - Tubulação para extração de lodos.
- d - Câmara de gases
- e - Câmara de espuma

Figura 2. 1 – Secção transversal do tanque Imhoff

Fonte: Dos Santos (s.d)

i. Conceção

Segundo Netto (1963), devem ser observados os seguintes aspectos na concepção dos tanques de Imhoff:

- A inclinação das paredes do compartimento de decantação 1,25:1 (sendo 1 na horizontal), em casos excepcionais 1:1. O espaço para a passagem de lodos deve ser de 15 cm no mínimo, sendo preferencial a de 20 cm;
- As zonas neutras não devem ser incluídas nos cálculos. Constitui 45 cm acima e outros 45 cm abaixo da abertura para a passagem de lodos;
- A inclinação do fundo do compartimento de digestão é de 1:2 no mínimo (sendo 2 na horizontal);
- A superfície destinada às escumas e a saída dos gases não deve ser inferior a 20% da área total da câmara digestora, e a sua largura mínima deve ser de 45 cm;
- A canalização para a remoção dos lodos digeridos deve ter um diâmetro mínimo de 15 cm, podendo ser usado um diâmetro de 10 cm em instalações muito pequenas. A declividade deve ser de 3%.

ii. Dimensionamento

O compartimento onde ocorre a sedimentação de sólidos é dimensionado tendo em conta a carga hidráulica e o tempo de retenção, e o compartimento onde ocorre a digestão é dimensionado tendo em conta a carga de sólidos afluyente (Q_i) e o tempo para

a estabilização de sólidos (T_E). As expressões, de acordo com Donath (2010, p. 10) e Martins (2017), são as abaixo colocadas.

– **Zona de decantação**

$$S_0 = \frac{Q_{aflu}}{A} \quad (2)$$

Onde:

S_0 – é a carga hidráulica (1,10 – 1,40 [$m^3/(m^2*d)$]);

Q_{aflu} – é o caudal afluente ao tanque [m^3/d];

A – área da zona de decantação [m^2].

$$T_R = \frac{V}{Q_{aflu}} \quad (3)$$

Onde:

V – é o volume da zona de decantação [m^3];

T_R – tempo de retenção [2 – 5 h].

– **Zona de digestão**

$$T_E = \frac{V_{digestor}}{Q_l} \quad (4)$$

Onde:

T_E – é o tempo de estabilização de lodos (6 meses);

Q_l – é a carga de sólidos afluente (0,06 – 0,09 [$m^3/(hab*ano)$]).

2.1.3.3. Factores que influenciam na concepção e implantação dos sistemas privados de gestão de águas residuais

O principal objectivo dos sistemas de gestão de águas residuais é o lançamento de efluentes com qualidade regulamentarmente aceitável e isso só pode ser alcançado fazendo uma escolha adequada do dispositivo complementar no tratamento usando sistemas privados.

A escolha dos dispositivos que complementam o sistema de tratamento depende muito das condições do terreno e da região onde o mesmo será implementado. As características que requerem uma investigação minuciosa são:

- Condições geográficas e hidrogeológicas da região;
- Condições geotécnicas do terreno.

1. Condições geográficas e hidrogeológicas da região

As condições geográficas e hidrogeológicas devem ser devidamente observadas pois interferem na escolha do local adequado para a implantação do sistema de gestão de águas residuais, assim como que tipo de sistema implantar.

As características que devem ser observadas são: a topografia, a geologia, a temperatura (no que concerne a ocorrência de chuvas na região) e a hidrologia.

– Topografia

A inclinação dos terrenos e a regularidade dos mesmos são aspectos muito importantes no posicionamento e implantação dos dispositivos secundários de tratamento das águas residuais.

A topografia descreve as características físicas da superfície, incluindo as elevações relativas e o aspecto da superfície. Em áreas que apresentam um declive, as águas fluem para além das zonas altas do declive e são direccionadas para as zonas baixas do declive, causando a sua acumulação (Heger, 2021).

Para além de influenciarem no movimento das águas no solo, o conhecimento da topografia onde os sistemas serão implantados é importante também pois ajuda a tomar medidas preventivas quanto a factores que podem influenciar o funcionamento do sistema. Para zonas baixas onde se prevê a acumulação das águas podem ser criados mecanismos para o redireccionamento das mesmas ou outras técnicas que previnam problemas futuros de disfuncionalidade. Isso só pode ser possível com o conhecimento das características superficiais físicas dos terrenos.

Terrenos com declive muito acentuado podem dificultar a construção e/ou limitar o tipo de equipamento que pode ser usado no terreno (Heger, 2022, para. 2)

Terrenos muito inclinados e muito irregulares podem requerer grandes quantidade de terraplanagem, o que não sucede em terrenos pouco inclinados ou planos.

– **Ocorrência de chuvas**

A precipitação contribui no humedecimento da superfície da terra, cria o escoamento superficial e ajuda também na recarga da água subterrânea. Zonas com períodos chuvosos muito longos e com uma intensidade de precipitação elevada tem influência no funcionamento dos sistemas de drenagem *onsite*. Por causarem o humedecimento dos solos, têm grande influência na saturação dos solos e na redução da capacidade de infiltração dos solos.

Quando se verifica que o valor de precipitação tem uma percentagem significativa quando comparada com o efluente que o sistema irá receber, torna-se necessário considerar o valor da precipitação no dimensionamento do sistema.

É possível prover o sistema com mecanismos de alívio do solo para fazer face a influência da precipitação na capacidade de infiltração do solo.

– **Geologia**

O material de origem de um solo é o material original, geralmente rocha erodível como a rocha sedimentar, a partir do qual o solo foi criado. O material de origem dá ao solo as suas propriedades químicas e mecânicas e, o conhecimento do solo de origem e as formações rochosas existentes é importante para avaliar as características de retenção de água e transmissividade dos sistemas *onsite* (Sanks & Asano, 1975, p. 196).

As formações geológicas devem ser consideradas em termos da estrutura da rocha-mãe, profundidade até a rocha mãe, litologia, grau de meteorização e presença de qualquer condição especial tal como depósitos glaciares. Podem também ser investigadas adicionalmente as falhas e fracturas e o potencial de ocorrência de sismos pois é importante na concepção dos sistemas (Sanks & Asano, 1975).

O conhecimento do material que deu origem ao solo em que se pretende instalar o sistema permite conhecer a composição química, física e mineralógica dos mesmos, o que ajuda a perceber de antemão o comportamento que o sistema terá sob o ponto de

vista de remoção dos organismos patogénicos, nutrientes, entre outros, e na capacidade drenante dos solos, e permite conhecer a estrutura do solo.

– Hidrologia

O estudo hidrológico refere-se ao estudo da ocorrência de água subterrânea. A água subterrânea nos solos pode estar confinada, quando está isolada por camadas impermeáveis e a sua recarga é feita através de fontes locais de água, semi-confinada quando é isolado por camadas pouco permeáveis (aquítardos) mas ainda transmitem uma quantidade significativa de água, e não confinados quando são rodeados por camadas permeáveis, podendo ser facilmente contaminados.

O lençol freático é o nível de água subterrânea abaixo do qual os solos se encontram saturados impossibilitando a infiltração da água no solo, este nível pode variar dependendo da temperatura (incidência da precipitação e tempos secos), cobertura do solo e uso do solo.

No estudo das características hidrológicas do local deve-se investigar a profundidade do lençol freático, o seu movimento, a qualidade da água e o seu uso. A determinação do nível a que o lençol freático se encontra em relação ao nível do solo é de extrema importância na escolha do sistema de infiltração, bem como na preservação dos recursos existentes.

A percolação das águas residuais através do solo criará montes de água que podem eventualmente atingir a superfície e reduzir a taxa de percolação se não existir uma profundidade suficiente até o nível freático ou se não for provida uma drenagem subterrânea (Sanks & Asano, 1975, p. 194).

Se a qualidade da água subterrânea cumprir com os padrões estabelecidos para a água de consumo ou se a mesma for usada para fins potáveis, a concepção dos sistemas de infiltração que recarregam directamente os aquíferos deve ser muito cautelosa (Sanks & Asano, 1975).

2. Condições geotécnicas do terreno

Geralmente, os solos são considerados sistemas bastante simples, quando na realidade são muito complexos tanto na sua composição química como física. O

solo é caracterizado por muitas propriedades físicas, químicas e biológicas com as quais a purificação é possível. No entanto, a eficiência do tratamento depende tanto da capacidade de purificação do solo como das características do efluente. O solo deve ter uma capacidade de tratamento segura sem interferir com as águas subterrâneas ou com os estratos impermeáveis (Winneberger, 1974, p. 89 e 92).

O sucesso de um sistema *onsite* depende das características do solo tanto quanto da concepção do sistema e da sua manutenção. A investigação das condições deve consistir na avaliação da estrutura do solo e na sua capacidade drenante (taxa de infiltração).

– Estrutura do solo

A estrutura do solo é obtida pelo conhecimento da sua textura, composição e pelo seu perfil, o que permite fazer uma classificação minuciosa.

Textura

A textura do solo depende da proporção dos diferentes tamanhos das partículas minerais que o compõem. Os tamanhos das partículas do solo ditarão se o solo é constituído por pedregulhos, areias, siltes, argilas ou uma junção das quatro classes de solos ou parte deles (Hygnstrom *et al.*, 2011a; Mangala *et al.*, 2016).

O conhecimento da textura do solo é importante pois determina a sua capacidade de retenção de água, permeabilidade e trabalhabilidade e afecta na quantidade de água e nutrientes que o solo contém e as suas propriedades físicas, tais como a estrutura e o movimento de ar e água através do solo (Mangala *et al.*, 2016).

A tabela 2.5 fornece as classificações, de várias organizações, das partículas dos solos em função dos seus tamanhos:

Tabela 2. 5 – Classificações das partículas dos solos em função dos seus tamanhos

Nome da Organização	Tamanho dos grãos (mm)			
	Pedregulho	Areia	Silte	Argila
<i>Massachusetts Institute of Technology (MIT)</i>	>2	2 a 0,06	0,06 a 0,002	<0,002
<i>U.S. Department of Agriculture (USDA)</i>	>2	2 a 0,05	0,05 a 0,002	<0,002
<i>American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO)</i>	76,2 a 2	2 a 0,075	0,075 a 0,002	<0,002
<i>Unified Soil Classification System (U.S. Army Corps of Engineers, U.S. Bureau of Reclamation e American Society for Testing and Materials)</i>	76,2 a 4,75	4,75 a 0,075	Grãos finos (ou seja, siltes e argilas) <0,075	
Observação: As aberturas de peneira de 4,75 mm são encontradas, nos EUA, em peneiras N.º 4; aberturas de 2 mm em peneiras N.º 10; aberturas de 0,075 em peneiras N.º 200.				

Fonte: Adaptado de Das (2006)

A percentagem de cada um desses tipos de partículas (pedregulhos, areias, siltes e argilas) na massa do solo permite fazer a sua classificação. A classificação dos solos é obtida na tabela 2.6:

Tabela 2. 6 – Classificação dos solos

Critérios para atribuição dos símbolos de grupo				Símbolo de grupo
Solos grossos Mais de 50% de material retido na peneira N.º 200	Pedregulhos Mais de 50% da fracção grossa retira na peneira N.º 4	Pedregulhos Puros	$C_u \geq 4 \text{ e } 1 \leq C_u \leq 3^e$	GW
		Menos de 5% de grãos finos	$C_u < 4 \text{ e/ou } 1 > C_u > 3^e$	GP
		Pedregulhos com finos	$IP < 4$	GM
		Mais de 12% de grãos finos	$IP > 7$	GC
	Areias 50% ou mais de fracção grossa passam na peneira N.º 4	Areias Puras	$C_u \geq 6 \text{ e } 1 \leq C_u \leq 3^e$	SW
		Menos de 5% de finos	$C_u < 6 \text{ e/ou } 1 > C_u > 3^e$	SP
		Areias com finos	$IP < 4$	SM
		Mais de 12% de finos	$IP > 7$	SC
Solos finos 50% ou mais passam na peneira N.º 200	Siltes e argilas Limite de Liquidez inferior a 50	Inorgânico	$IP > 7$	CL
			$IP < 4$	ML
		Orgânico	$\frac{LL(\text{seco em estufa})}{LL(\text{não seco})} < 0,75$	OL
	Siltes e argilas Limite de Liquidez igual ou superior a 50	Inorgânico	$IP > 7$	CH
			$IP < 4$	MH
		Orgânico	$\frac{LL(\text{seco em estufa})}{LL(\text{não seco})} < 0,75$	OH
Solos altamente orgânicos	Matéria primariamente orgânica, de cor escura e odor orgânico			Pt
<p>2. Pedregulhos de 5 a 12% de finos são representados da seguinte forma: GW-GM,GW-GC,GP-GM,GP-GC</p> <p>3. Areias de 5 a 12% de finos são representados da seguinte forma: SW-SM,SW-SC,SP-SM,SP-SC</p> <p>4. Se $4 \leq IP \leq 7$ usam-se os seguintes símbolos duplos: GC-GM, SC-SM,CL-CM</p>				

Fonte: Adaptado de Das (2006)

Solos bem drenados, o que é essencial para a infiltração-percolação, incluem solos arenosos, franco-argilosos, areias argilosas e cascalho. Areias muito grossas e cascalhos não são ideais pois a água residual passa rápido nas primeiras profundidades do solo onde a maior acção biológica ocorre (Sanks & Asano, 1975, p. 194).

A infiltração-percolação por serem muito importantes no funcionamento dos sistemas, a sua taxa/velocidade com que ela ocorre deve ser devidamente observada.

Perfil do solo

O conhecimento do perfil do solo é também importante durante o estudo das condições geotécnicas do terreno pois permitem ter uma visão geral das camadas que compõem o solo até se chegar a rocha-mãe. A natureza das camadas imediatamente abaixo da camada superficial pode afectar o tratamento e movimento das águas residuais através do solo.

A profundidade das camadas do solo e a permeabilidade de cada uma delas afecta a taxa de percolação global. O sistema pode ser limitado pela presença de uma camada rasa de argila entre duas camadas de areia porque a elevada permeabilidade do solo abaixo será negativamente afectada pela presença da camada de argila (Sanks & Asano, 1975, p. 194).

Taxa de infiltração do solo

Infiltração é o processo através do qual a água entra no solo. A velocidade com que a água infiltra no solo é designada taxa de infiltração (Mangala *et al.*, 2016). Normalmente expressa em $l/m^2/dia$, é prático dizer que é o volume de água que infiltra em uma área superficial do solo em determinado tempo. A infiltração é rápida quando os solos estão secos e decresce à medida que o solo fica saturado.

Percolação é o movimento da água na massa do solo. Apesar de serem fenómenos diferentes, a infiltração e a percolação estão relacionadas, pois o processo de infiltração pode ser interrompido quando a água infiltrada deixa de ser encaminhada pela percolação (Mangala *et al.*, 2016).

De acordo com o mesmo autor, os factores que influenciam a taxa de infiltração são:

- Textura e estrutura do solo;

- Condições na superfície do solo;
- Teor de humidade do solo;
- Tipo de cobertura vegetal;
- Actividade humana à superfície;
- Porosidade.

Nos sistemas *onsite* de tratamento de água, a eliminação das águas é feita exclusivamente pelo solo, o que exige do mesmo uma taxa de infiltração que permita que a disposição das águas seja eficiente sob o ponto de vista de tratamento complementar e inexistência de água à superfície e/ou criação de poças de água.

A determinação da capacidade de infiltração do solo é feita por testes de campo. Testes laboratoriais não são recomendados uma vez que uma amostra homogénea de laboratório não representa as reais condições do terreno.

Os testes que ajudam na determinação da taxa de infiltração são:

- Infiltrômetro de duplo anel;
- Teste de percolação.

O teste de infiltrômetro de anel duplo estima o movimento vertical da água através da parte inferior da área de teste, uma vez que o anel exterior evita o movimento divergente, enquanto que no teste de percolação o movimento da água através da parte inferior e das laterais da área de teste. Por isso, a taxa de rebaixamento do nível da água medida no teste de percolação deve ser ajustada para representar a descarga que ocorre tanto na parte inferior assim como nas laterais do poço de infiltração (Riemersma, 2021).

3. Função do solo no tratamento

O solo age como um filtro físico-químico por remover partículas coloidais e largas presentes nas águas residuais (Sanks & Asano, 1975). As principais propriedades físicas dos sistemas para remoção de poluentes podem ser categorizadas em: filtração, sorção, floculação e sedimentação (Winneberger, 1974, p. 90).

A filtração é a primeira a acontecer na superfície de contacto. Inicialmente só as substâncias maiores que os poros são filtradas e à medida que a filtração ocorre as substâncias filtradas propiciam a formação de poros menores, o que ajuda na retenção de partículas menores (Winneberger, 1974, p. 90). Solos com textura grossa tem

grandes espaços vazios e um rápido fluxo de água o que reduz a eficiência de tratamento de água; solos de textura fina têm poros menores e uma velocidade de movimento de água menor. Solos com uma mistura de tamanhos de partículas tais como: franco, franco-arenosos, areias argilosas, franco-siltosos geralmente propiciam um melhor balanço entre o tratamento e infiltração das águas no solo (Cogger, 1987).

O solo pode ter uma capacidade de absorver substâncias dissolvidas presentes na água residual. Alguns tipos de transformações químicas como a precipitação podem ocorrer, tendendo em remover químicos e impedir que os mesmos alcancem os aquíferos. Minerais de argila e outros tipos de sólidos tem uma elevada capacidade de sorção para vários tipos de produtos químicos. Entretanto, alguns sólidos como areias de quartzo ou silicatos com pouco ferro, alumínio, carbonato de cálcio e matéria orgânica, tem pouca ou nenhuma capacidade de sorção para muitos químicos (Sanks & Asano, 1975, p. 181 e 182).

Por serem partículas carregadas, os solos têm a capacidade de atrair partículas carregadas que constituem as águas residuais, tais como vírus, poluentes e imobilizá-las.

O solo ajuda na remoção de alguns nutrientes, sendo dois deles o Nitrogénio e o Fósforo. O Nitrogénio proveniente da fossa séptica está na forma de Amónia (NH_3), uma parte é usada pelas bactérias do solo ou adsorvida pelas partículas do solo, mas a maior parte é convertida em nitratos (NO_3) no solo arejado abaixo do sistema de tratamento. O Fósforo está presente na forma de fosfato (PO_4), como encontrado em alguns detergentes. É removido por ligação química com minerais como cálcio, manganês e ferro, dependendo do pH do solo. Solos com maior teor de argila tem maior capacidade de ligação com fosfato (Hygnstrom et al., 2011b, para 7).

A temperatura, humidade e a grande comunidade biológica no solo exercem grande papel na eliminação de agentes patogénicos e da matéria orgânica presente na água residual.

2.1.3.4. Impactos ambientais advindos dos sistemas de tratamento de água onsite

O solo é considerado um “filtro vivo” que remove “todos” os contaminantes presentes nas águas domésticas. O uso do solo como um “filtro vivo” tem sido aclamado como a maior técnica de tratamento ecologicamente mais adequada, uma vez que a reciclagem de matérias é uma realidade. No entanto, o processo de purificação e tratamento no solo é muito complexa pelo elevado número de variáveis interactivas envolvidas. Desde sempre, o lançamento das águas no solo tem ocorrido em uma escala natural e tem produzido tanto benefícios como efeitos negativos ao ambiente (Sanks & Asano, 1975).

Quando o tratamento das águas não é suficiente a água residual pode conter agentes patogénicos microbianos que quando descarregados num meio receptor sensível, como o solo e/ou sistemas aquáticos, pode afectar negativamente (Leonard & Gilpin, 2006).

O nitrogénio e o fósforo são substâncias causadoras de eutrofização em águas superficiais devido ao seu contacto com o oxigénio. Quando os sistemas de drenagem de águas residuais são implantados não respeitando as condições de terreno existentes, existe um risco de que as águas atinjam as águas superficiais por meio do escoamento superficial ou sendo encaminhadas pelas águas subterrâneas, fazendo com que as concentrações de nitrogénio e fósforo presente nas águas com défice de tratamento causem a eutrofização.

A eutrofização causa grandes impactos aos sistemas aquáticos, como a morte de espécies aquáticas que também pode causar odores desagradáveis, redução da biodiversidade na área afectada, aumento exagerado de algas e outras espécies aquáticas.

2.1.3.5. Dispositivos complementares de tratamento de águas residuais domésticas

Em áreas onde a taxa de infiltração e as características do solo são boas, pode-se fazer a seleção de sistemas complementares que melhor se adequem as condições encontradas.

Sistemas complementares de tratamento de águas residuais domésticas ou simplesmente sistemas *onsite* são aqueles que procedem o tratamento e eliminação das águas residuais no solo por meio da infiltração.

Segundo o Decreto n.º 30/2003:

- Podem ser usados poços de infiltração quando o terreno for permeável numa profundidade entre 2,00 e 3,00 m e o nível freático se situar a cota inferior;
- Pode ser usada a trincheira ou leito de infiltração quando o terreno for permeável numa profundidade entre 1,00 e 2,00 m e o nível freático se situar a cota inferior;
- Pode ser usada a trincheira filtrante ou filtro de areia enterrado quando o terreno for impermeável e o nível freático se situar a uma profundidade superior a 1,50 m;
- Pode ser usado um aterro filtrante quando o nível freático se situar a uma profundidade inferior a 1,50 m.

De acordo com McClelland (1978), os sistemas complementares que podem ser implantados na presença de nível freático elevado são

- Aterro filtrante;
- Filtros de areia;

Para o mesmo autor, no caso de baixa permeabilidade podem ser implantados os sistemas abaixo listados:

- Campos alternativos;
- Leitos de infiltração;
- Trincheiras de infiltração;
- Evapotranspiração;
- Filtros de areia.

A escolha do sistema complementar a ser usado deve ser feito tendo em conta a sua aplicabilidade sobre o ponto de vista de funcionamento, fiabilidade do sistema, economia e também as vantagens e desvantagens que o mesmo apresenta. Abaixo segue a descrição dos sistemas complementares.

1. Aterro filtrante

O sistema de aterro filtrante consiste em um enchimento de areia sobre o solo natural, que contém uma camada cheia de cascalho e uma rede de tubagem de pequeno diâmetro. A figura 2.4 apresenta a secção longitudinal de um sistema de aterro filtrante.

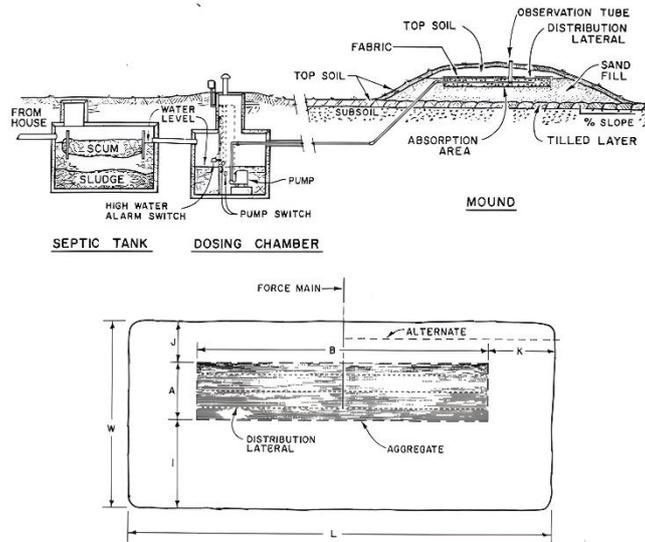


Figura 2. 2 – Sistema de aterro filtrante

Fonte: Converse & Tyler (2000)

De acordo com Rennekamp *et al.* (2016) e Solomon *et al.* (1998), o sistema pode ser implantado na presença das seguintes condições:

- Solos de permeabilidade lenta ou rápida;
- Camada de solo sobre rocha fendilhada ou porosa;
- Elevado nível freático.

Os principais componentes deste sistema são a câmara de bombagem e o aterro. A câmara de bombagem situa-se a seguir a fossa séptica, contém uma bomba que distribui sob pressão a água proveniente da fossa séptica. Se a fossa séptica estiver num nível acima do aterro, pode ser usado um sifão ao invés de uma bomba (Solomon *et al.*, 1998).

O aterro é constituído por uma camada de solo que pode suportar vegetação e um agregado de cascalho grosso coberto por tecido (geotêxtil), onde é instalada a rede de tubagem que distribui uniformemente o efluente através do agregado e da areia. À medida que o efluente atravessa as camadas, ele é filtrado e passa para o solo natural presente (Solomon *et al.*, 1998, p.1).

i. Concepção

Na concepção de um aterro filtrante devem ser tomados em consideração os seguintes aspectos:

- Os aterros não podem ser implantados em planícies de inundação, caminhos de drenagem ou depressões, a menos que haja protec o contra inunda es (Solomon *et al.*, 1998);
- Por razões construtivas o declive do solo original não deve ser superior a 25% (Converse & Tyler, 2000);
- Deve ser mantida a distância horizontal de separa o com os furos de água para abastecimento, águas superficiais, fontes de água, edifica es, funda es e limites de propriedades (Solomon *et al.*, 1998);
- Os aterros devem ser longos e estreitos para permitir que a água infiltre no solo abaixo sem ir   superfície (Rennekamp *et al.*, 2016)
- Segundo Rennekamp *et al.* (2016) e Converse & Tyler (2000) areia usada para o enchimento não pode ter mais que 20% em peso de material com mais de 2 mm de diâmetro (fragmentos grosseiros) e não deve ter mais de 5% em peso de material com menos de 0,53 mm (silte e argila) na sua composi o. O diâmetro efectivo deve estar entre 0,15 e 0,30 mm e o coeficiente de uniformidade entre 4 e 6.

ii. Vantagens e desvantagens do sistema

Segundo Solomon *et al.* (1998), as vantagens e desvantagens dos aterros filtrantes são as indicadas abaixo.

Vantagens

- Estes sistemas permitem fazer o uso do solo que seria inapropriado para sistemas locais enterrados ou no nível do solo;
- O solo natural usado neste sistema   a camada superior que geralmente   a mais permeável;
- Não tem uma descarga directa para valas, fontes de água e outras massas de  gua;
- Os danos de constru o podem ser minimizados uma vez que   necessária pouca escava o, isso se for tomado o devido cuidado;
- Pode ser utilizado em diversos climas.

Desvantagens

- O custo de construção é mais elevado em relação ao dos outros sistemas convencionais;
- Uma vez que a camada de solo permeável é geralmente limitada deve ser tomado extremo cuidado para não danificar esta camada com o equipamento de construção;
- A localização dos aterros pode afectar os padrões de drenagem e limitar as opções de uso do solo;
- O aterro terá de ser novamente construído caso ocorra vazamento/fugas;
- Todos os sistemas necessitam de bombas e sifões;
- Em alguns casos os aterros podem não ser esteticamente agradáveis.

2. Filtros de areia

Filtros de areia são leitos construídas de areia ou outro material granular apropriado que procedem o tratamento secundário das águas residuais (*Sand Filters Provide Quality, Low-Maintenance Treatmet, 1997*).

Consiste em uma camada cheia de cascalho, onde são colocados os tubos perfurados para a distribuição das águas, seguido da camada de areia. No fim da camada de areia é colocado um tubo perfurado na parte superior para a recolha da água tratada.

Os filtros de areia podem ser usados em diversas condições de terreno, tais como: na presença de maciço rochoso pouco profundo, elevado nível da água subterrânea, solos pobres e solos com baixa permeabilidade (*Sand Filters Provide Quality, Low-Maintenance Treatmet, 1997*).

Nos filtros de areia ocorrem os processos de tratamento físico, químico e biológico das águas residuais. Embora os processos físicos e químicos desempenhem um papel importante na remoção de muitas partículas, os processos biológicos desempenham o papel mais importante nos filtros de areia (*Wastewater Technology Fact Sheet: Intermittent Sand Filters, 1999*).

As águas são distribuídas através da tubagem perfurada embebida na camada de cascalho e segue percolando pela camada de areia, onde o tratamento ocorre. No fim da camada de areia, a água já tratada é recolhida pelo tubo perfurado. Após o

tratamento, as águas podem ser reutilizadas em sistemas de irrigação, lançadas para infiltração no solo ou em águas superficiais.

i. Concepção

De acordo com (*Wastewater Technology Fact Sheet: Intermittent Sand Filters*, 1999), os aspectos que devem ter tidos em conta no processo de concepção e implementação do sistema são:

- A areia de enchimento deve ser o mais uniforme possível para permitir que as águas residuais passem de forma eficaz através deles;
- O diâmetro efectivo do material de enchimento deve estar no intervalo de 0,25-0,75 mm e o coeficiente de uniformidade inferior a 4;
- Devem ser respeitadas as distâncias em relação às edificações e fontes de água, levando em consideração os regulamentos locais.

ii. Vantagens e desvantagens

De acordo com (*Wastewater Technology Fact Sheet: Intermittent Sand Filters*, 1999) as vantagens e desvantagens dos filtros de areia são:

Vantagens

- Os filtros de areia produzem um efluente com elevada qualidade de tratamento, que pode ser usado para irrigação ou descarregado na superfície após a desinfecção;
- Nenhuma necessidade do uso de químicos;
- Facilidade de monitoramento e não requer pessoal qualificado para operar;
- Baixos custos de construção e manutenção.

Desvantagens

- Possível entupimento do filtro;
- Necessidade de manutenção regular;
- Caso o material de enchimento não esteja disponível localmente pode acarretar elevados custos;
- Após tratadas, as águas devem ser direccionadas a um destino final.

Os filtros mostram-se ser uma boa solução quando se trata de maiores volumes de água residual produzida, pelo facto de estas precisarem ser posteriormente encaminhadas para um destino final. A implementação deste tipo de sistema em zonas com práticas agrícolas e/ou áreas verdes oferece mais sustentabilidade ao mesmo por conferir ao sistema um local para a deposição final das águas.

3. Leitos e trincheiras de infiltração

Trincheiras e/ou leitos de infiltração são sistemas que procedem o tratamento e eliminação das águas residuais através da infiltração no solo.

São constituídos por tubagem horizontal perfurada envolta em material granular (cascalho) por onde a água residual é distribuída, um geotêxtil que faz a separação entre o material granular e o solo colocado na parte superior da escavação. A diferença existente entre o sistema de trincheiras e os leitos é que nas trincheiras o material granular só é preenchido na trincheira estreita onde é colocada a tubagem enquanto nos leitos o material granular é colocado ao longo de toda a extensão do leito.

McClelland (1978), considera os sistemas de trincheiras e/ou leitos de infiltração como sistemas que podem ser usados em zonas com solos de baixa permeabilidade. *Wastewater technology fact sheet: Rapid Infiltration Land Treatment* (2003), considera que estes sistemas devem ser considerados em solos com permeabilidade superior a 1.50 cm/hr, o que Crites et al. (2006) classifica como solos de permeabilidade moderada. Em contrapartida, Pedroso (2008) e Collado & Díez (2010), consideram que este sistema deve ser adoptado em zonas com solos de boa permeabilidade.

Nestes sistemas a água percola através das trincheiras e infiltra no solo pelas laterais e o fundo das trincheiras, onde ocorre o tratamento por meio de processos físicos, químicos e biológicos. A maior parte das reações que propiciam o tratamento ocorrem nos primeiros 60 a 150 cm de solo insaturado (*Onsite Wastewater Treatment Systems Manual*, 2002).

i. Concepção

Os sistemas de trincheiras e/ou leitos de infiltração fornecem uma maior área superficial para um menor volume escavado. Para que se verifique um bom funcionamento destes, os seguintes pontos devem ser tomados em consideração:

- Deve ser respeitada uma distância de pelo menos 3 metros em relação as edificações (Pedroso, 2008);
- Deve respeitar-se a distância em relação a fontes de água tomando em consideração o regulamentado na região em causa;
- Deve-se considerar pelo menos 3–4,50 metros de solo não saturando até as condições de restrição (Collado & Díez, 2010).

ii. **Vantagens e desvantagens**

De acordo com (*Wastewater Technology Fact Sheet: Rapid Infiltration Land Treatment*, 2003), constituem vantagens e desvantagens dos sistemas de trincheiras e/ou leitos de infiltração os abaixo indicados:

Vantagens

- Não necessita de produtos químicos para efectuar o tratamento;
- Proporciona maior área superficial e/ou área drenante;
- Não é afectado por mudanças sazonais, exemplo: tempos frios;
- Boa qualidade do efluente;
- Ajuda na recarga da água subterrânea. As águas já tratadas podem ser descarregadas em águas superficiais ou reutilizadas para fins como a irrigação;
- É um sistema que funciona por gravidade, o que significa nenhum consumo de energia.

Desvantagens

- Recurso a campos alternativos para evitar grandes áreas quando se trata de grandes volumes de água residual produzida;
- Pode requerer remoção ocasional dos primeiros centímetros do solo para colocação de um novo material;
- O sistema pode ficar entupida quando estiver a receber efluentes que não receberam um tratamento primário adequado.

4. Evapotranspiração

Um sistema de evapotranspiração é aquele que faz o tratamento e eliminação da água residual através da evaporação a partir da superfície do solo e/ou transpiração pelas plantas, sem que a água residual seja descarregada às águas superficiais ou reservas subterrâneas (*Decentralized Systems Technology Fact Sheet: Evapotranspiration, 2000*).

As plantas usam a humidade no seu processo de crescimento e, conseqüentemente, o excesso é retirado pelas suas folhas através do processo da transpiração (*Evapotranspiration Systems, 2000*).

O sistema é constituído por uma camada de cascalho onde se encontram embebidos os tubos de distribuição, uma camada de areia, um geotêxtil que faz a separação entre o leito de evapotranspiração e o solo natural e outro que faz a separação entre a camada de areia e a de cascalho, de modo a evitar o entupimento da camada de cascalho.

A camada de cascalho serve de reservatório do afluente e deve estar o mais nivelado possível para garantir uma distribuição equitativa das águas residuais (*Evapotranspiration Systems, 2000*). A acção da capilaridade na areia faz com que a água residual flua para a superfície e seja eliminada através da evaporação, ao passo que a vegetação transporta a água residual para as folhas através das raízes, onde a mesma transpira. Estes dois processos, evaporação e transpiração permitem que não haja descarga de água residual para os solos a volta do sistema (*Decentralized Systems Technology Fact Sheet: Evapotranspiration, 2000*).

Segundo *Decentralized Systems Technology Fact Sheet: Evapotranspiration (2000)* e *Evapotranspiration Systems (2000)*, o Sistema de evapotranspiração pode ser em zonas com elevado nível de água subterrânea, solo relativamente impermeável, rocha mãe pouco profunda ou fraturada e outras condições que podem colocar em risco a água subterrânea ou superficial.

Este sistema depende tanto das características dos solos assim como das condições climáticas. É um sistema fortemente afectado pela precipitação, velocidade do vento, humidade, radiação solar e a temperatura (*Decentralized Systems Technology Fact Sheet: Evapotranspiration, 2000*) É importante que a taxa de evaporação seja maior que a taxa de precipitação para que o sistema funcione devidamente, por isso, é

recomendado usar este sistema em zonas com temperaturas mais quentes e que o nível de precipitação é reduzido.

i. Concepção

De acordo com *Decentralized Systems Technology Fact Sheet: Evapotranspiration* (2000) e *Evapotranspiration Systems* (2000) estes são os aspectos que devem ser considerados na concepção dos sistemas de evapotranspiração:

- A areia deve ser ótima e suficiente para atrair por meio da acção capilar a água até a superfície, isto é, o potencial capilar deve ser superior a profundidade da camada de areia;
- Deve haver uma profundidade de 60 a 120 cm de camada insaturada para um tratamento adequado antes que a água residual atinja a água subterrânea, isso quando se combina o sistema de evapotranspiração e a percolação;
- O sistema deve ser implantado numa área que não seja caminho das águas e que não seja muito íngreme;
- A distância entre os tubos de distribuição não deve ser superior 3,60 m e a distância destes com os bordos do sistema não deve ser inferior 90 cm;
- A vegetação deve ser tolerante a sais, pois a medida que a água evapora durante os tempos secos sais são acumulados na superfície; devem ser adoptadas plantas que permitem o máximo de transpiração possível para a região, que tenham raízes pequenas e que suportem variações de humidade.

ii. Vantagens e desvantagens

Segundo *Decentralized Systems Technology Fact Sheet: Evapotranspiration* (2000) e *Evapotranspiration Systems* (2000), constituem vantagens e desvantagens dos sistemas de evapotranspiração os abaixo indicados:

Vantagens

- Sistemas de evapotranspiração constituem uma boa solução quando o terreno apresenta restrições físicas e geológicas que impossibilitam o uso dos outros métodos *onsite*;
- Reduzido risco de contaminação das águas subterrâneas;

- Apresenta custos competitivos se comparado com os outros sistemas de tratamento;
- É uma solução viável e que pode complementar a absorção em áreas com solos de baixa permeabilidade e elevado nível da água subterrânea;
- Pode ser uma boa opção paisagística quando usadas plantas de pequena raiz e decorativas.

Desvantagens

- A sua eficiência é condicionada por condições climáticas como: precipitação, velocidade do vento, humidade, radiação solar e temperatura;
- Pode não ser uma solução apropriada para pequenas áreas e superfícies irregulares;
- A sua capacidade de armazenamento é reduzida, o que impossibilita o armazenamento da água residual em períodos frios para que seja eliminada em períodos secos, o que ocasiona uma ineficiência do sistema nos períodos frios;
- Possibilidade de sobrecarga do sistema pela precipitação. Por isso, a evapotranspiração deve exceder a precipitação;
- O leito deve ser impermeabilizado de modo a evitar a contaminação da água subterrânea;
- Reduzidas taxas de transpiração e evaporação no inverno;
- A acumulação de sais e outros elementos podem ser prejudiciais a vegetação, o que pode reduzir a eficiência do sistema.

Por requererem grandes áreas, os sistemas de evapotranspiração podem ser contruídos em campos alternativos, o que permitirá que a sobrecarga de um campo seja enviada para o outro, evitando a construção de grandes campos de evapotranspiração.

2.1.3. Técnicas auxiliares no gerenciamento de águas residuais

As técnicas que auxiliam no gerenciamento de águas residuais são aquelas que contribuem no aumento da eficiência do sistema e propiciam um melhor uso do recurso precioso que é a água.

Das técnicas existentes, as que serão descritas no presente trabalho são o reuso e o bombeamento das águas.

2.1.4.1. Reuso das águas

Consiste no uso da água residual para fins não potáveis após o seu devido tratamento. para de acordo com o fim a aplicar. A técnica de reuso de águas residuais ajuda na racionalização do recurso água, que embora seja indispensável é esgotável.

O efluente doméstico é constituído por dois tipos de águas residuais: águas negras e águas brancas/cinzentas. As águas cinzentas podem ser reutilizadas para irrigação de jardins, descargas nos sanitários e na lavagem de máquinas e as águas negras são especialmente recomendadas para a irrigação de jardins (Fane *et al.*, 2013).

Para se fazer o tratamento das águas residuais para o reuso deve-se primeiro saber a proveniência das mesmas de modo a saber qual sistema de tratamento aplicar. Para o reuso na irrigação é necessário no mínimo uma limpeza mecânica, o tratamento mecânico-biológico principalmente, o tratamento químico pode ser feito quando justificável (Kriška *et al.*, 2014).

O tratamento das águas cinzentas inclui uma etapa de pré-tratamento, seguida do tratamento por filtros ou processos biológicos e uma última fase de desinfecção (Soares, 2018).

A escolha da tecnologia de tratamento que mais se adegue ao efluente depende de uma análise mais detalhada dos tipos e características que deverão ser eliminadas ou minimizadas, tomando em consideração factores técnicos e económicos (Biazus, 2015).

2.1.4.2. Bombeamento das águas

O bombeamento de águas consiste na redução da quantidade de água nos dispositivos de drenagem com recurso a bombas hidráulicas e posterior deposição longe do local de extracção. Este sistema ajuda na redução da carga hidráulica do sistema.

Geralmente, recorre-se ao sistema de bombagem quando há excesso de carga hidráulica. No caso de zonas com solos de baixa permeabilidade pode-se recorrer a bombagem em intervalos de tempo para reduzir a quantidade de água e o nível de saturação dos solos, proporcionando-lhes assim possibilidade de proceder a infiltração.

Em zonas com lençol freático elevado, pode-se recorrer ao sistema de bombagem para reduzir o nível do lençol freático e o nível de saturação dos solos na camada não afectada pelo lençol freático.

CAPÍTULO III: TRABALHO REALIZADO

Com vista a identificar as causas comuns dos problemas que as escolas localizadas em zonas de baixa permeabilidade e elevado lençol freático enfrentam, que é o objectivo geral do estudo, foram realizados os trabalhos abaixo mencionados tendo em conta os problemas comuns que podem ser encontrados nos sistemas: entupimento da tubagem, questões dimensionais e disfuncionalidade dos dispositivos de utilização.

3.1. Trabalho de campo e laboratório

O trabalho realizado in situ e no laboratório consistiu no levantamento do nível do lençol freático nas escolas Secundária Noroeste II, Secundária da Liberdade e no Instituto Industrial e Comercial da Matola, realização de ensaio de caracterização dos solos das escolas, realização do ensaio Lefranc para determinação do coeficiente de permeabilidade na Escola Secundária de Chinonanguila.

O levantamento in situ e o trabalho de laboratório foram feitos com o objectivo de obter evidências das condições de terreno da área em que as escolas se localizam.

3.1.1. Levantamento do nível do lençol freático

O levantamento do lençol freático foi feito com recurso ao trado manual. É um equipamento usado para investigação geológico-geotécnica do terreno.

A sondagem usando trado manual consiste na perfuração do solo para recolha de amostras deformadas, determinação do nível freático e a determinação do perfil do solo. As amostras colectadas permitem a realização de ensaios de caracterização dos solos e de compactação. É usado na presença de solos pouco consistentes e as perfurações podem ir até seis (6) metros de profundidade, devendo revestir o furo na presença de solos soltos de modo a evitar a queda dos mesmos no furo.

Material levado ao terreno

- Trado manual;
- Fita métrica;
- Amostrador de madeira;
- Tubos de PVC para revestimento;
- Recipientes para a colecta de amostras;
- Cronómetro;

- Balança.

A figura 3.1 mostra os materiais usados para a realização do trabalho de campo.



Figura 3. 1 – Materiais usados na perfuração

Procedimento

- Identificação dos pontos para realização dos furos de sondagem por observação no terreno e com recurso a plataforma Google Earth;
- Limpeza superficial da área de realização dos furos;
- Perfuração até a profundidade em que se verifica a presença de água. Caso não se verifique a presença de água após 2 metros de perfuração, a mesma deve ser interrompida;
- Registo da profundidade escavada com o auxílio do amostrador de madeira e a fita métrica;
- Medição da profundidade do lençol freático em intervalos de 5 minutos nos primeiros 30 minutos. Caso o nível não estabilize deve-se continuar a medição em intervalos de tempo maiores até que verifique a estabilização do mesmo.
- Recolha de pelo menos 300 g de amostra do solo para realização de ensaios de laboratório.
- Cerramento do furo de sondagem.

Os levantamentos foram feitos num período de transição entre a época seca e a época húmida do ano hidrológico (finais da época seca e início da época húmida). Sendo assim, os valores obtidos não são abrangentes, dando assim uma limitação ao estudo.

3.1.2. Caracterização dos solos

A classificação dos solos foi feita pelo sistema de classificação da AASTHO e o sistema Unificado, tendo sido necessário realizar em laboratório a análise granulométrica dos solos e a determinação dos limites de Atterberg, limite de liquidez (LL) e limite de plasticidade (LP). Os resultados obtidos são apresentados no ANEXO 5.

3.1.2.1. Análise granulométrica

O ensaio para a análise granulométrica foi feito a luz das normas ASTM D 6913 e ASTM D 422. Pela classificação preliminar feita as partículas, foi somente feito o ensaio de peneiramento.

Procedimento

- Cada tipo de solo é primeiramente separado em três cápsulas devidamente enumeradas, e as cápsulas são posteriormente colocadas a secar em estufa. As cápsulas são pesadas antes e depois da secagem para a determinação do teor de humidade natural do solo;
- Após secagem, é pesada uma quantidade de cada solo no intervalo de 200 a 500 g. Essas quantidades são lavadas no peneiro nº 200 (abertura 0,075 mm), para a retirada do material argiloso. As quantidades já lavadas são colocadas novamente a secar em estufa;
- Com os solos já secos, é feito o peneiramento dos solos e a pesagem das massas acumuladas de cada solo recolhido em campo;
- Com as massas acumuladas e as percentagens retidas, foi possível traçar a curva granulométrica.

3.1.2.2. Limites de Atterberg

Os ensaios para a determinação dos limites de Atterberg foram realizados com base na norma ASTM D 4318-05.

Preparação geral dos solos:

- Secagem em estufa das amostras colhidas e posterior esmagamento no almofariz, temperatura entre 105° a 115°;
- Separação das partículas que passam pelo peneiro nº 40 (abertura 0,420 mm, ASTM) das que ficam retidas;
- Recolha do material que passa pelo peneiro nº 40 para realização dos ensaios.

Na figura 3.2 é apresentado o material usado durante o ensaio.



Figura 3. 2 – Equipamentos para determinação dos limites de Atterberg

1. Limite de Plasticidade (LP)

Material

- Placa de vidro despolido;
- Paquímetro;
- Recipiente para mistura de solos;
- Cápsulas;
- Espátula.

Na figura 3.3 é apresentado o modelo dos materiais usados durante o ensaio.



Figura 3. 3 – Material para determinação do Limite de Plasticidade

Fonte: Adaptado de <https://www.didaticasp.com.br/conjunto-limite-de-plasticidade>

Procedimento

- Primeiro é adicionada água de modo a humedecer a mistura até ganhar consistência e ser moldável;
- Em seguida, divide-se a massa de solo em pequenas porções e enrola-se na placa de vidro polido, com uma pressão moderada, usando a palma da mão até atingir um diâmetro uniforme de 3,20 mm, medido com recurso ao paquímetro;
- Os rolos são em seguida colocados em duas cápsulas devidamente enumeradas, procurado estabelecer uma distribuição uniforme da humidade, e colocadas a secar em estufa. As cápsulas são pesadas antes e depois da secagem na estufa;
- Os solos que mesmo humedecidos não eram moldáveis foram considerados não plásticos, não tendo sido feito assim para esse tipo de solo o ensaio para a determinação do limite de liquidez.

A figura 3.4 mostra as amostras, das duas escolas, dos rolos obtidos antes da secagem na estufa.



Figura 3. 4 – Rolos de 3,2 mm de diâmetro para determinação do limite de plasticidade das escolas ICM e ESEFJN, respectivamente

2. Limite de Liquidez (LL)

Material

- Aparelho de Casagrande, com concha de latão;
- Espátula;
- Ferramenta para abertura do sulco e calibre;
- Água destilada.

A figura 3.5 apresenta o aparelho de Casagrande utilizado no ensaio para a determinação do limite de liquidez.



Figura 3. 5 – Concha de Casagrande para determinação do Limite de Liquidez

Procedimento

- Humedecimento e mistura da amostra do solo até ganhar um teor em água uniforme e permitir obter um número de golpes, nos três testes, nos intervalos de 35 a 40, 25 a 30, e 15 a 20, respectivamente;
- Espalhar a amostra humedecida na concha de latão de modo a obter uma superfície horizontal e em seguida abrir o sulco numa linha que une o ponto mais alto ao ponto mais baixo do bordo da concha com o auxílio a ferramenta, mantendo-a sempre perpendicular à superfície da concha;
- Limpar as laterais e a base da concha de modo a garantir a inexistência de partículas de solo que possam comprometer/alterar os resultados do ensaio;
- Com a manivela, fazer movimentos de rotação de modo a golpear a concha até que as duas metades da mistura do solo se unam no fundo da concha ao longo de uma distância de 13 mm do comprimento do sulco;
- Caso alguma bolha de ar no interior da massa do solo tenha causado a união prematura das duas metades de solo e/ou não se tenha alcançado o número de golpes no intervalo requerido, deve-se voltar a misturar a amostra de solo acrescentando pouca quantidade de água para compensar as perdas ou acrescentando solo caso se requeira maior consistência da mistura;
- Para solos em que após testes sucessivos com incrementos do teor de humidade o número de golpes necessário para unir as duas metades é inferior a 25, é registado que não se pode determinar o limite de liquidez;
- Fazer o registo do número de golpes necessário para unir as duas metades e retirar o pedaço de solo ao logo da largura da união de bordo a bordo (perpendicular ao sulco);
- Em seguida o solo retirado é colocado numa cápsula devidamente enumerada, pesada e colocada a secar na estufa.
- O procedimento é repetido para obter os outros intervalos de golpes requeridos.

A foto 3.6 mostra as amostras de solo na cápsula antes e depois dos golpes.



Figura 3. 6 – Amostra do solo, da escola secundária de Chinonanquila, com o sulco aberto e com a união de uma distância de 13 mm do comprimento do sulco

3.2. Entrevista e Questionário

Com vista a conhecer as condições de utilização dos sanitários nas escolas e o historial da escola no que respeita ao funcionamento ao longo dos anos, foi feito um inquérito aos alunos e entrevistas algumas entidades escolares.

O tipo de entrevista a que se recorreu neste trabalho, foi a **entrevista semi-estruturada**, que faz o uso de um roteiro de questões previamente elaborado, contudo, o desenvolvimento da entrevista não segue o mesmo com rigidez. O questionário é classificado, quanto a forma, como **questionário fechado**, onde pede-se aos respondentes para que escolham uma alternativa dentre as que são apresentadas numa lista.

A entrevista foi feita aos directores das escolas e aos chefes de património das mesmas. O questionário abrangeu um grupo de 20 alunos por escola, no ANEXO 1 é apresentado o modelo usado.

3.3. Verificação do sistema de drenagem

Este estudo foi feito de forma específica para a Escola Secundária de Chinonanquila, uma vez que foi recentemente construída e verifica-se que as condições do tempo em que foi projectada são similares às condições actuais.

Para o caso das outras escolas afectadas pelo estudo, uma vez que foram construídas a vários anos atrás e pela acção do Homem e dos eventos climáticos que têm vindo a decorrer ao longo do tempo, alguns dos quais têm vindo a alterar as condições ambientais não se sabendo assim para que condições o sistema de drenagem foi concebido, não se realizou a verificação do sistema sob o ponto de vista de dimensionamento. O estudo realizado nestas escolas foi buscar informações sobre as condições do tempo de construção e do início das actividades para de seguida compará-las às condições actuais.

Para a Escola Secundária de Chinonanquila, foi feito também o dimensionamento de um novo sistema de drenagem, tendo em conta as suas condições de terreno, de forma a fazer uma breve comparação com o sistema actual.

3.4. Ensaio Lefranc

O ensaio Lefranc foi realizado pelo laboratório Geo-Sitio por solicitação da empresa responsável pelo projecto de execução da escola de modo a determinar o coeficiente de permeabilidade dos solos. A figura 3.7 ilustra o equipamento e a equipe que realizou o ensaio.



Figura 3.7 – Realização do Ensaio de Lefranc

O ensaio consistiu em um ensaio de carga constante durante uma (1) hora, onde procurava-se manter o nível da água no topo do tubo de revestimento do poço de sondagem, e em seguida um ensaio de carga variável durante 30 minutos, onde

procedeu-se a leitura dos rebaixamentos do nível de água no interior do tubo de revestimento. Todos os resultados são apresentados no ANEXO 4 neste trabalho.

Como foi mencionado acima, existem outros métodos usados para a determinação da taxa de infiltração de um solo, como é o caso do teste de infiltrômetro de anel duplo e o teste de percolação. Abaixo são descritos os procedimentos para a sua execução.

1. Infiltrômetro de anel duplo

Um infiltrômetro de anel duplo consiste em dois anéis metálicos concêntricos, com dimensões que podem variar dependendo da legislação vigente na local em que se pretende implantar o sistema. A figura 3.8 apresenta os materiais usados para a realização do teste de infiltrômetro de anel duplo.

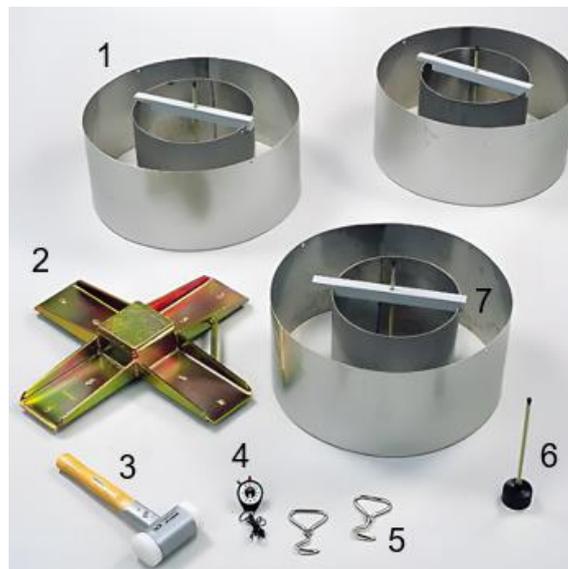


Figura 3. 8 – Infiltrômetro de Anel Duplo

Fonte: Adaptado de <https://www.directindustry.com/pt/prod/sdec-france/product-197020-1961215.html>

Legenda:

1. Anéis metálicos concêntricos;
2. Placa para cravação dos anéis;
3. Martelo;
4. Cronómetro;
5. Ganchos para extrair os anéis;
6. Haste de medição e flutuador;
7. Ponte auxiliadora de medição.

Procedimento

A norma ASTM 3385 descreve o procedimento para a realização do teste do infiltrômetro de anel-duplo. Abaixo é descrito o procedimento a luz de Riemersma (2021) e Johnson (1991):

- Primeiro faz-se a limpeza da superfície do solo do local em que se pretende realizar os testes;
- Com a ajuda da placa metálica (podendo também ser de madeira) e do martelo de borracha, procede-se a cravação dos anéis no solo a profundidades que variam de 15 a 20 cm, os 2 anéis devem estar nivelados. Os solos à volta dos anéis que estiverem perturbados devem ser compactados.
- Depois da cravação posiciona-se a ponte que auxilia a medição, a haste de medição e o flutuador (estes materiais podem ser substituídos por uma régua)
- Procede-se em seguida o enchimento da água nos anéis, primeiro enche-se o anel exterior e em seguida o anel interior até a altura de marcação (a altura de água no anel interior não deve ser inferior a 5 cm). O anel exterior ajuda no impedimento do fluxo divergente e, o rebaixamento do nível e/ou volume de água no anel exterior é usado para calcular a taxa de infiltração;
- Após o enchimento da água no interior dos anéis faz-se o registo da variação dos níveis de água no anel interior em intervalos de tempo. O tempo de leitura depende do tipo de solo, em solos pouco permeáveis (argilas, siltes) o intervalo de leitura é prolongado enquanto em solos muito permeáveis esse intervalo é reduzido (o teste pode levar de 3 a 6 horas).
- Com as variações da altura de água e o tempo é possível calcular a velocidade de infiltração da água no solo. Notar-se-á que os valores tenderão para um valor constante, esta será a taxa de infiltração do solo.

2. Teste de percolação

O teste de percolação permite obter a taxa de infiltração através de um factor de redução.

Procedimento

De acordo com Winneberger (1974), o teste de percolação é feito como é abaixo descrito:

- Preparação da superfície de realização do teste.
- Escavação de um furo de 10 a 30 cm até a profundidade em que se pretende implantar o sistema de lançamento das águas (podendo este valor ser limitado a 90 cm. Os lados e o fundo devem ser escarificados com material de pontas afiadas para proporcionar uma interface natural do solo e da água que irá percolar, este processo deve ser sucedido pela remoção dos solos que forem se soltando.
- Deve ser adicionada uma camada de 5 cm de cascalho no fundo do furo para proteger o fundo quando a água for adicionada.
- O furo é previamente cheio com água a uma altura mínima de 30 cm contada acima da camada de cascalho, essa altura deve ser mantida por pelo menos 4 horas ou de um dia para o outro na presença de argilas. É importante permitir que o solo seja exposto tempo suficiente neste processo de absorção pois permite que as condições se assemelhem as do sistema de lançamento das águas. Este processo não é necessário quando se trata de areias com pouco ou nenhuma proporção de argila.
- Se depois do tempo de absorção, 1 dia, ainda tiver água no furo, a profundidade de água é ajustada para 15 cm contada acima da camada de cascalho. A partir do ponto de referência deve-se medir o rebaixamento do nível de água após 30 minutos e, este mesmo rebaixamento será usado para calcular a taxa de percolação.
- Se ainda houver água no furo depois do tempo de absorção (um dia), o nível de água é ajustado para 25 cm contada acima da camada de cascalho. A partir do ponto de referência mede-se o rebaixamento do nível de água em intervalos de 30 minutos por um período de 4 horas (o nível de água deve ser ajustado para 15 cm sempre que necessário). O rebaixamento que ocorre no último intervalo de 30 minutos é usado para calcular a taxa de percolação.
- Em solos arenosos ou outros tipos de solo em que os primeiros 15 cm de água infiltra em menos de 30 minutos depois do tempo de absorção, o intervalo de medições deve ser de 10 minutos e o teste deve ser realizado num período de

uma (1) hora. O rebaixamento que ocorre no último intervalo de 10 minutos é usado para calcular a taxa de percolação.

As perfurações para o teste de percolação devem ser distribuídas ao longo da área em que se pretende implantar o sistema (pelo menos 3 poços). O valor da taxa de infiltração da área será dado pela média da taxa de infiltração de cada um dos poços.

As fórmulas para a determinação da taxa de infiltração e o factor de acordo com Riemersma (2021) são abaixo apresentadas:

$$\text{Taxa de infiltração (TI)} = \frac{\text{Taxa de percolação}}{\text{Factor de redução}} \quad (5)$$

O factor de redução é aplicado porque a percolação também ocorre nas paredes do poço de teste e é dado por:

$$R_f = \frac{2*d_i - \Delta d}{D} + 1 \quad (6)$$

Onde:

R_f - Factor de redução;

d_i - Profundidade inicial da água;

Δd - Valor médio dos últimos valores de rebaixamento do nível de água nos poços;

D - Diâmetro do furo do teste de percolação.

CAPÍTULO VI: APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

4.1. Escola Secundária de Chinonanquiça

O estudo realizado na Escola Secundária de Chinonanquiça consistiu na recolha de amostra dos solos para realização do ensaio de caracterização dos solos, verificação do dimensionamento do sistema de drenagem, inquérito aos alunos e entrevista às entidades escolares.

4.1.1. Características hidrológicas e geotécnicas

– Nível Freático

Do ensaio de permeabilidade realizado obteve-se um coeficiente de permeabilidade médio de $3,63 \times 10^{-6} m/s$. Segundo a tabela classificativa presente no relatório do laboratório e apresentada na figura 4.1, os solos são classificados como semi-permeáveis.

K (cm/s)	10 ²	10 ¹	10 ⁰ =1	10 ⁻¹	10 ⁻²	10 ⁻³	10 ⁻⁴	10 ⁻⁵	10 ⁻⁶	10 ⁻⁷	10 ⁻⁸	10 ⁻⁹	10 ⁻¹⁰
K (ft/day)	10 ⁵	10,000	1,000	100	10	1	0.1	0.01	0.001	0.0001	10 ⁻⁵	10 ⁻⁶	10 ⁻⁷
Relative Permeability	Pervious			Semi-Pervious				Impervious					
Aquifer	Good			Poor				None					
Unconsolidated Sand & Gravel	Well Sorted Gravel		Well Sorted Sand or Sand & Gravel		Very Fine Sand, Silt, Loess, Loam								
Unconsolidated Clay & Organic					Peat		Layered Clay		Fat / Unweathered Clay				
Consolidated Rocks	Highly Fractured Rocks			Oil Reservoir Rocks		Fresh Sandstone		Fresh Limestone, Dolomite		Fresh Granite			

Figura 4. 1 – Tabela de Classificação usada pela Geo-Sítio

Fonte: Adaptado do relatório do ensaio de permeabilidade da escola secundária de Chinonanquiça

O nível do lençol freático no recinto da escola foi verificado através das fotos das escavações, tiradas durante o período de construção dos drenos da escola, como é ilustrado na figura 4.2. As escavações foram de cerca de 3,00 metros, com isso foi possível verificar que o nível freático está abaixo desta profundidade.



Figura 4. 2 – Escavação para construção dos drenos na Escola Secundária de Chinonanquila

A construção dos drenos decorreu em Junho de 2021, período seco do ano hidrológico. Com isso, importa referir que neste período do ano o nível do lençol freático é relativamente baixo devido a baixa precipitação, uma vez que a água subterrânea é recarregada pelas águas das chuvas.

A permeabilidade dos solos na escola de Chinonanquila é baixa, o que significa que a infiltração da água no solo ocorre lentamente fazendo com que maior parte da água das chuvas escorra superficialmente, percebe-se assim que as condições não seriam muito diferentes no período chuvoso.

– **Características geotécnicas**

Pela escavação feita durante o período de construção dos drenos é possível notar que as características do solo visíveis a olho nu são semelhantes ao logo da sua profundidade. A amostra para realização dos ensaios em laboratório, ilustrada na figura 4.3, apresenta as seguintes características físicas: areia fina-grossa, com algum teor de argila, de cor castanha muito escura e pouco húmida.



Figura 4. 3 – Amostra de solo da Escola Secundária de Chinonanguila

Dos resultados obtidos no laboratório o solo é classificado como areia argilosa, A-2-6 (2) segundo a classificação da AASTHO ou SC segundo a classificação Unificada. O solo tem um teor de argila/silte de 29,80 % e um índice de plasticidade de 20,70%, o que o classifica como sendo de plasticidade alta.

4.1.2. Verificação do dimensionamento dos dispositivos de drenagem

4.1.2.1. Sistema existente

Pela disposição do sistema de drenagem, o dimensionamento das fossas sépticas e dos drenos foi feito por blocos. O dimensionamento foi feito considerando dois turnos de funcionamento. O sistema de drenagem da Escola Secundária de Chinonanguila é apresentado no ANEXO 3.

1. Fossa séptica

De acordo com a tabela 3, para uma escola sem dormitórios um utente equivale a três alunos. Foi considerado um número de 400 utentes, correspondente às 12 salas de aula por bloco e 50 alunos por sala de aula. Foi considerado um tempo de retenção de 2 dias e com o auxílio da tabela 4 foi possível obter os outros parâmetros para o cálculo do volume da fossa séptica pela expressão (1). A capitação de águas residuais considerada é de 50 l/hab/dia (Dos Santos, s.d.).

Uma vez que o número de utentes é superior a 100, a fossa deve ter no mínimo dois compartimentos. A relação C/L considerada é de 5/1 e uma altura de 1,70 metros. O volume da fossa séptica obtido é de:

$$V = 99,76 \text{ m}^3 \approx 100 \text{ m}^3$$

1.2. Dreno vertical

O dreno vertical foi dimensionado fazendo o uso do valor obtido no ensaio de permeabilidade *in situ*. A expressão usada é abaixo apresentada.

$$P * C_p \leq Q_i * d * h * \pi \quad (7)$$

Onde:

P – População;

C_p - Capitação de águas residuais [l/(hab*dia)];

Q_i - Caudal de infiltração [l/(hab*dia)];

d - Diâmetro do dreno vertical [m];

h - Altura útil do dreno vertical [m].

O dreno recebe a água proveniente dos lavatórios, urinóis e a água proveniente da fossa séptica (originada nos vasos sanitários) após o tratamento, que depende do tempo de retenção. Cada bloco de sala de aulas tem 2 urinóis corridos, 12 lavatórios e 14 autoclismos.

Segundo Pedroso (2008), os caudais descarregados por minuto pelos dispositivos de utilização são:

- Urinol corrido – 90 l/min;
- Lavatório – 30 l/min;
- Autoclismo – 90 l/min.

Em instalações públicas, descarta-se a possibilidade de todos os dispositivos de utilização estarem a funcionar em simultâneo. Assim, o caudal de cálculo é obtido multiplicando o caudal acumulado por um coeficiente designado coeficiente de simultaneidade.

$$Q_c = 7,3497 * Q_a^{0,5352} \quad (8)$$

Onde:

Q_c - Caudal de cálculo [l/min];

Q_a - Caudal acumulado [l/min].

O caudal proveniente das fossas sépticas é de 20000 l/dia, considerando 400 utentes e uma capitação residual de 50 l/aluno/dia. O caudal proveniente dos urinóis e lavatórios, considerando o tempo dos intervalos nos dois períodos de funcionamento e o coeficiente de simultaneidade, é de 19181,80 l/dia. Com esses caudais, obteve-se uma área superficial de 124,90 m².

Esta área corresponde a cerca de 7 vezes a área drenante do dreno vertical existente na instituição, com 2,00 metros de diâmetro e 2,50 metros de profundidade.

4.1.2.2. Novo sistema

Com vista a encontrar uma melhor solução para o problema de drenagem presente na escola localizada em Chinonanquila, fez-se o dimensionamento de um novo sistema, considerando um sistema de drenagem horizontal em substituição do sistema de drenagem vertical.

1. Considerando trincheiras/leitos de infiltração

$$P * C_p \leq Q_i * l * c \quad (9)$$

Onde:

P – População;

C_p - Capitação de águas residuais [l/(hab*dia)];

Q_i – Caudal de infiltração [l/(hab*dia)];

l – Largura da trincheira de infiltração [m];

c – Comprimento da trincheira de infiltração [m].

Dada a disponibilidade no recinto da escola e a disposição dos blocos de salas de aula, optou-se por separar os blocos sanitários em dois grupos, sendo cada grupo compostos por dois blocos de salas de aula. Assim, o caudal de dimensionamento de cada leito de infiltração será duas vezes o caudal produzido em cada bloco, que é o caudal proveniente das fossas sépticas e o proveniente dos urinóis e lavatórios.

$$P * C_p = Q_D = (400 * 50 * 2) + 2 * 19181,80 = 78,40 \text{ m}^3/d$$

Com este caudal, obtém-se uma área de 250,00 m². Para um comprimento do leito de infiltração de 20 metros, obtém-se uma largura de 12,50 metros. No ANEXO 2 é apresentando o desenho do leito detalhado.

O cálculo da área de um filtro de areia enterrado obtém-se seguindo o mesmo procedimento.

2. Considerando um Aterro filtrante

Para o dimensionamento do aterro filtrante foram usados os seguintes dados de entrada: caudal afluyente ao aterro, taxa de carga hidráulica linear, taxa de infiltração da areia de enchimento, e a taxa de infiltração do solo natural. O caudal de dimensionamento é o correspondente a dois blocos de salas de aula. Os parâmetros usados para o dimensionamento e as dimensões são apresentadas nas tabelas 4.1 e 4.2.

Tabela 4. 1 – Valores dos Parâmetros para o Dimensionamento do Aterro Filtrante

Dados de entrada	Valores
Caudal de dimensionamento	78,36 m ³ /d
Taxa de carga hidráulica linear (LLR ¹)	0,106 m ² /d
Taxa de infiltração da areia de enchimento (SIR ²)	0,051 m/d
Taxa de infiltração do solo natural (SILR ³)	0,01 m/d

¹ LLR – Linear Loading Rate, valor adaptado de *Mound Systems for Onsite Wastewater Treatment: Siting, Design and Construction in Ohio* (Rennekamp et al., 2016, p.15)

² SIR – Sand Loading Rate, valor adaptado de *Wisconsin Mound Soil Absorption System: Siting, Design and Construction Manual* (Converse & Tyler, 2000, p. 13)

³ SILR – Soil Infiltration Loading Rate, valor adaptado de *Mound Systems for Onsite Wastewater Treatment: Siting, Design and Construction in Ohio* (Rennekamp et al., 2016, p. 14)

Tabela 4. 2 – Dimensões do Aterro Filtrante

Parâmetro	Fórmula	Valor Obtido
A	LLR/SLR	2,08 m
B	Q_d/LLR	739 m
J + A + I	$LLR/SILR$	10,60 m
Valores recomendados para as outras dimensões		
D = E		⁴ mínimo 30 cm
F		23 cm
G		30 cm
H		45 cm
Inclinação dos taludes		3:1

Optou-se também por fazer o dimensionamento do sistema de tratamento primário sobreposto (tanque Imhoff). Como foi descrito acima, por constituir um sistema separado, os gases gerados não têm influência sobre a qualidade do efluente descarregado, proporcionando maior qualidade do mesmo. O cálculo segue abaixo, feito com base nas expressões (2) a (4).

$$S_0 = 1,30 \text{ m/h}$$

$$T_R = 3 \text{ h}$$

$$Q_i = 0,09 \text{ m}^3/\text{hab}\cdot\text{ano}$$

– **Zona de decantação**

$$A = 6,41 \text{ m}^2$$

$$V = 16,70 \text{ m}^3$$

$$H = 2,60 \text{ m}; C = 4,50 \text{ m}; L = 1,50 \text{ m}$$

– **Zona de digestão**

$$V = 18,00 \text{ m}^3$$

⁴ A altura da camada de enchimento depende da qualidade de tratamento requerida e das condições de terreno disponíveis

H = 1,95 m

L = 2,50 m

O desenho do tanque Imhoff é apresentando no ANEXO 2.

4.1.3. Entrevistas e Observações

Inquérito aos alunos

Do inquérito feito aos estudantes obteve-se o resultado ilustrado na figura 4.4:

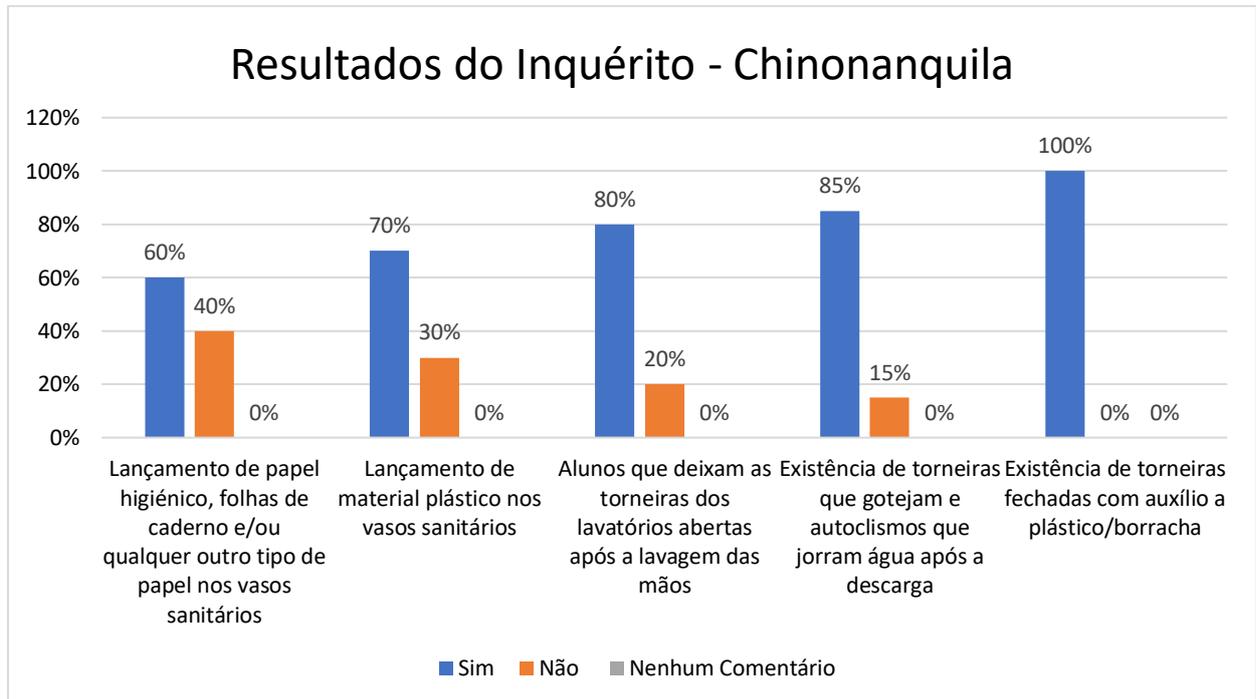


Figura 4. 4 – Resultados percentuais do inquérito sobre as várias práticas de uso dos sanitários, Escola Secundária de Chinonanquila

Após observar os dispositivos de utilização e o sistema de drenagem das águas residuais pode-se verificar o seguinte:

- O transbordo de água verifica-se nas caixas de inspeção de águas brancas e das águas negras;
- Foi possível verificar o transbordo das águas no dreno do bloco 4, referente as casas de banho que estavam em funcionamento no dia da visita ao local;

A figura 4.5 faz a ilustração do cenário presenciado.



Figura 4. 5 – Ilustração do transbordo no sistema de drenagem, em funcionamento, da Escola Secundária de Chinonanquila

- No dia da visita as casas de banho do bloco 2 não estavam em funcionamento, mas foi possível verificar ainda água estagnada na área que circunda a fossa séptica, algumas das caixas de inspeção e o dreno, como é ilustrado na figura 4.6;



Figura 4. 6 – Ilustração do estado do sistema de drenagem da Escola Secundária de Chinonanquila nos blocos em que o mesmo não estava em funcionamento

- Alguns dos autoclismos continuam a jorrar água após a descarga.

4.2. Escola Secundária da Liberdade

A Escola Secundária da Liberdade localiza-se no bairro da Liberdade, Matola, província de Maputo, tendo começado a operar em 1995. É composta por 26 salas de aula, funcionando nos períodos da manhã, da tarde e da noite, com uma média de 80 alunos por turma (nos períodos da manhã e da tarde). O número actual de alunos na escola é de 9680.

A escola está situada numa zona baixa (observando o relevo da região), altitude de 21 metros. Nas laterais e na parte traseira da escola há uma vala de drenagem pública de águas pluviais.

O sistema de drenagem adoptado na escola é constituído de fossas sépticas e drenos de infiltração verticais.

O estudo de campo consistiu na abertura de furos de sondagem, recolha de amostras do solo para a realização do ensaio de caracterização, realização de inquérito aos alunos, entrevista às entidades escolares e observação do sistema de drenagem.

4.2.1. Características hidrológicas e geotécnicas

– Nível freático

Foram realizados três furos de sondagem como é abaixo apresentado. Na identificação dos pontos para realização dos furos de sondagem teve em conta a posição dos eucaliptos presentes no recinto da escola, procurou-se realizar os furos em pontos distantes dos eucaliptos uma vez que estes ajudam na redução do nível freático devido ao seu consumo diário, estima-se cerca de 20 litros de água por eucalipto por dia, presumindo assim, que em áreas próximas aos eucaliptos o volume/profundidade da água seria baixo.

Na figura 4.7 é possível ver os pontos em que foram realizados os furos de sondagem.

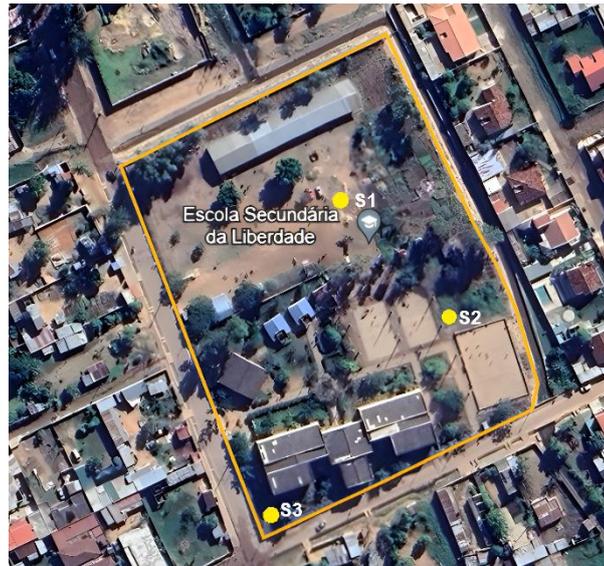


Figura 4. 7 – S1, S2.S3, pontos de perfuração, ESL

Fonte: Adaptado de <https://earth.google.com/web/search/escola+secundaria+da+liberdade>

Os registos do trabalho realizado em campo são apresentados nas tabelas 4.3, 4.4, e 4.5 e ilustrados nas figuras 4.8, 4.9, e 4.10.

Primeiro furo de sondagem

Tabela 4. 3 – Registo das medições do NF no primeiro furo de Sondagem, ESL

Equipamento:	Trado Manual	Data: 31/08/2023
Furo:	S1	
Diâmetro do furo:	850 mm	
Profundidade escavada:	104 cm	
Leituras		
Tempo (min)	Profundidade do NF (cm)	
0	79,00	
05	76,00	
10	71,50	
15	67,00	
100	64,00	



Figura 4. 8 – Um dos registos fotográficos da altura do lençol freático no primeiro furo de Sondagem, ESL

Segundo furo de Sondagem

Tabela 4. 4 – Registo das medições do NF no segundo furo de Sondagem, ESL

Equipamento:	Trado Manual	Data: 31/08/2023
Furo:	S2	
Diâmetro do furo:	850 mm	
Profundidade escavada:	64 cm	
Leituras		
Tempo (min)	Profundidade do NF (cm)	
0	43,00	
05	41,00	
10	40,30	
15	40,00	
50	40,00	



Figura 4. 9 – Registo fotográfico do segundo furo de Sondagem e de uma das alturas do nível freático, ESL

Terceiro furo de sondagem

Tabela 4. 5 – Registo das medições do NF no terceiro furo de Sondagem, ESL

Equipamento:	Trado Manual	Data: 31/08/2023
Furo:	S3	
Diâmetro do furo:	850 mm	
Profundidade escavada:	144 cm	
Leituras		
Tempo (min)	Profundidade do NF (cm)	
0	87,00	
05	84,00	
10	84,00	
15	84,00	



Figura 4. 10 – Um dos registos da profundidade perfurada e da altura do lençol freático no terceiro furo de Sondagem, ESL

– Características geotécnicas

Os solos predominantes no recinto da Escola Secundária da Liberdade têm uma coloração castanho-claro, com pouca/nenhuma coesão e uma textura dos seus grãos muito fina, como é ilustrado na figura 4.11.



Figura 4. 11 – Amostra do solo da Escola Secundária da Liberdade

Dos ensaios feitos em laboratório, os solos são classificados como areia mal graduada com silte, A-3 (0) segundo a classificação da AASTHO ou SP-SM segundo a classificação Unificada. os solos têm um teor de silte de 5,50 % e são não plásticos.

4.2.2. Entrevistas e Observações

Da entrevista feita ao director e outras entidades da escola foi possível perceber que as cheias que ocorreram no ano de 2000 mudaram por completo as condições de funcionamento da escola. Antes das cheias o nível do lençol freático encontrava-se muito abaixo, tanto que as águas eram todas infiltradas e não se verificava enchentes não só a nível da escola, mas no bairro como um todo. Depois das cheias os solos ficaram saturados e o nível da água subterrânea subiu drasticamente de forma permanente.

Das observações feitas foi possível verificar:

- Transbordo de água numa das caixas de inspecção logo a saída de um dos sanitários;
- Dispositivos de utilização danificados, autoclismos e lavatórios avariados.

Abaixo são apresentadas mais informações colhidas da entrevista:

- No período chuvoso a escola fica inundada paralisando as aulas, uma vez que as águas das zonas altas são encaminhadas para a vala que a cercam e esta por sua vez transborda devido a sua capacidade, o que acaba afectando a escola;
- Há tempos em que as sanitas das casas de banho não conseguem fazer a descarga das águas;
- A escola já presenciou o retorno das águas nos ralos de pavimento presentes nas casas de banho, o que obrigou a escola a encerá-los;
- O único trabalho que tem sido feito no sistema de drenagem é a bombagem das fossas sépticas. Nenhum trabalho de reabilitação foi feito até então.

O resultado do inquérito feito aos alunos é apresentado na figura 4.12:

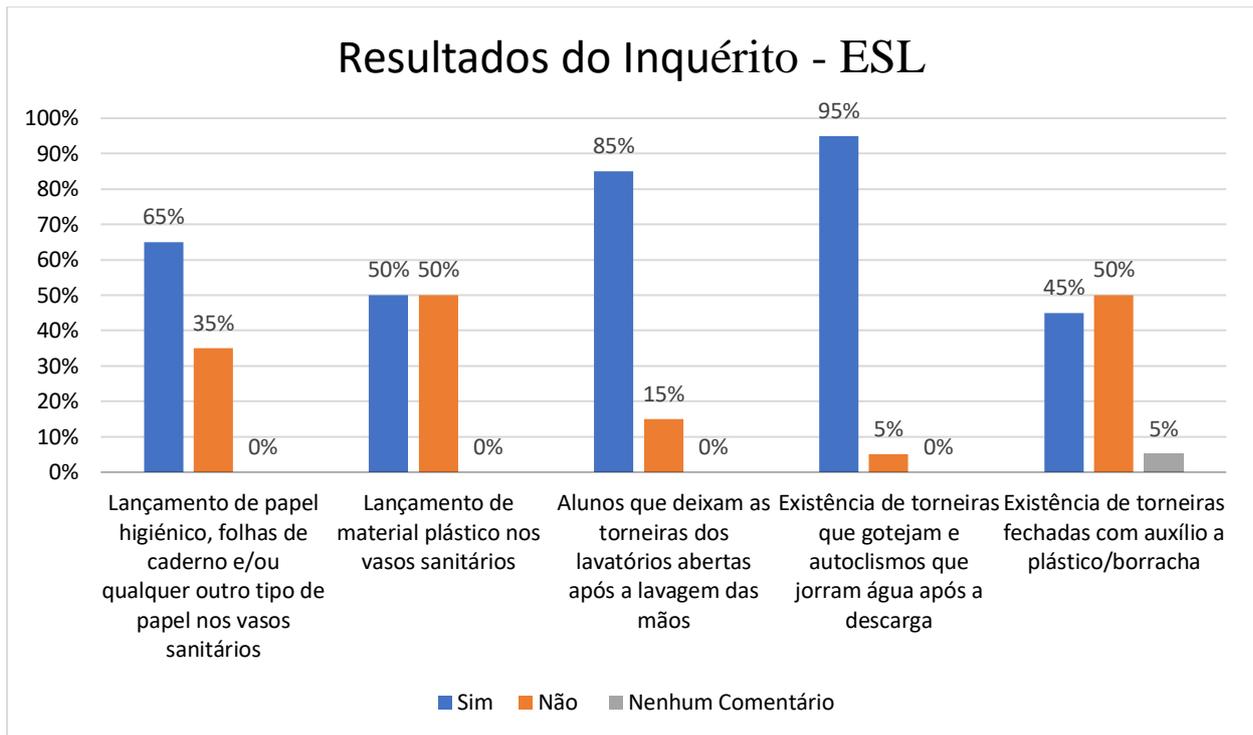


Figura 4. 12 – Resultados percentuais do inquérito sobre as várias práticas de uso dos sanitários, Escola Secundária da Liberdade

4.3. Instituto Industrial e Comercial da Matola

O Instituto Industrial e Comercial da Matola localiza-se no bairro da Matola 700, província de Maputo.

As actividades lectivas naquele centro de formação tiveram início em 1979. Actualmente, o instituto conta com um número de 1525 estudantes distribuídos nos diversos cursos leccionados.

O sistema de drenagem adoptado na escola consiste em fossas sépticas acopladas a drenos de infiltração vertical.

O estudo de campo consistiu na realização de furos de sondagem para determinação do nível freático, recolha de amostras do solo para realização dos ensaios de caracterização, realização de inquérito aos estudantes e entrevista às entidades escolares.

4.3.1. Características hidrológicas e geotécnicas

– Nível freático

No instituto Industrial e Comercial da Matola foram realizados dois (2) furos de sondagem, visto que decorriam trabalhos de reabilitação no recinto da instituição e já se dispunha de evidências passadas referentes ao nível freático.

Os furos de sondagem foram abertos no início do período húmido do ano hidrológico (Outubro). Até a data de realização dos furos não se verificou muita frequência na ocorrência das chuvas, o que significa que o nível do lençol freático não sofreu muita alteração. A figura 4.13 apresentada abaixo mostra os pontos em que foram realizadas as perfurações.



Figura 4. 13 – S1, S2, S3, pontos de perfuração, IICM

Fonte: Adaptado de <https://earth.google.com/web/search/Instituto+Industrial+e+Comercial+da+Matola>

Os valores obtidos nas leituras são apresentados nas tabelas 4.6 e 4.7, e os furos ilustrados nas figuras 4.14 e 4.15.

Primeiro furo de sondagem

Tabela 4. 6 – Registo das medições do NF no primeiro furo de Sondagem, IICM

Equipamento:	Trado Manual	Data: 06/09/2023
Furo:	S1	
Diâmetro do furo:	850 mm	
Profundidade escavada:	183 cm	
Leituras		
Tempo (min)	Profundidade do NF (cm)	
0	166,00	
05	165,50	
10	165,30	
15	165,00	
20	163,00	
25	163,00	
30	163,00	



Figura 4. 14 – Registo fotográfico do furo perfurado e de uma das alturas do lençol freático no primeiro furo de Sondagem, IICM

Segundo furo de sondagem

Tabela 4. 7 – Registo das medições do NF no segundo furo de Sondagem, IICM

Equipamento:	Trado Manual	Data: 06/09/2023
Furo:	S2	
Diâmetro do furo:	850 mm	
Profundidade escavada:	137.50 cm	
Leituras		
Tempo (min)	Profundidade do NF (cm)	
0	124,00	
05	117,50	
10	116,50	
15	115,70	
20	115,50	
25	115,00	
30	115,00	



Figura 4. 15 – Um dos registos da profundidade perfurada e da altura do lençol freático no segundo furo de Sondagem, IICM

– Características geotécnicas

Durante a escavação verificou-se a presença de duas camadas de solos, a primeira verificada nos primeiros 80 cm apresentava uma textura mais arenosa, grãos grossos, uma coloração mais escura (castanho-escuro) e apresentava pouca/nenhuma coesão. A segunda camada, que por sinal era a predominante, apresentava uma coloração avermelhada, com algum teor de argila e grãos muito finos. Solos avermelhados são ricos em óxido de ferro e são bem drenados. As amostras do solo usado no laboratório são ilustradas na figura 4.16.



Figura 4. 16 – Amostra de solo, IICM

O resultado do laboratório classificou os solos como areias argilosas, A-2-4 (0) segundo a classificação da AASTHO ou SC segundo a classificação Unificada. Tem 26,70 % de argila/silte e um índice de plasticidade de 8,40 %, o que o classifica como solo de baixa plasticidade.

4.3.2. Entrevistas e observações

Da entrevista feita ao director e alguns quadros da escola foi possível perceber que o único problema visível enfrentado pelo sistema de drenagem ao longo dos anos de funcionamento da escola foi o entupimento das fossas sépticas, situação que foi solucionada fazendo a bombagem das mesmas. Percebeu-se também que as condições de terreno tiveram as suas características alteradas a partir das cheias ocorridas no ano de 2000, contudo não se verificou nenhuma alteração no funcionamento do sistema.

Do inquérito feito aos alunos foi possível obter a informação ilustrada na figura 4.17:

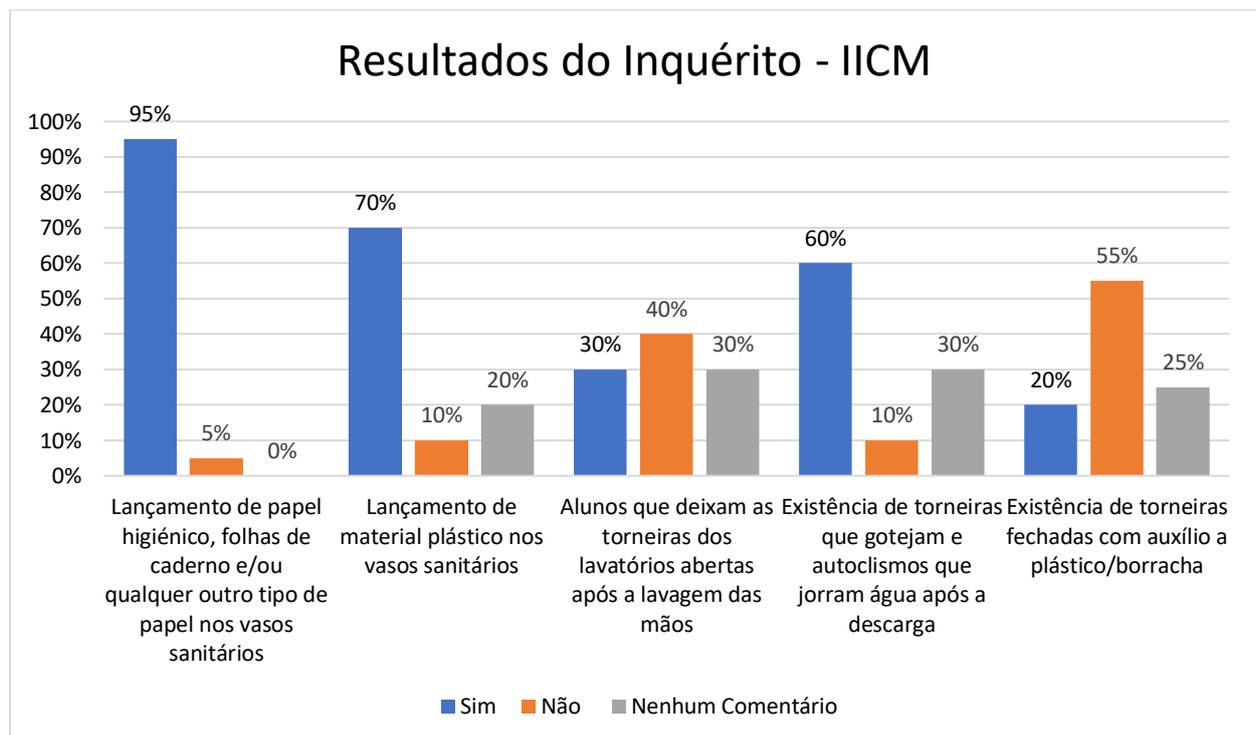


Figura 4. 17 – Resultados percentuais do inquérito sobre as várias práticas de uso dos sanitários, IICM

No período da realização da visita a escola decorriam trabalhos de reabilitação geral, com vista a melhorar as condições da escola. Desta fase e das observações realizadas foi possível obter a seguinte informação:

- Os drenos de infiltração encontravam-se soterrados;
- Alguma tubagem de águas residuais estava quebrada e entupida;

- Verificou-se na zona dos drenos um nível de água subterrânea a uma profundidade de cerca de 1,20 metros;
- Os sanitários da instituição até ao tempo da realização da visita não recebiam água, os lavatórios e os autoclismos encontravam-se totalmente danificados.

4.4. Escola Secundária Noroeste II

A escola Secundária Noroeste II localiza-se no bairro de Maxaquene, cidade de Maputo. Inaugurada em Fevereiro de 1979, a escola conta actualmente com 5220 alunos nos três turnos de funcionamento, período da manhã, da tarde e da noite.

O sistema de drenagem adoptado na escola consiste em fossas sépticas acopladas a drenos de infiltração vertical. A escola tem dois blocos de salas de aula, cada bloco tem o seu conjunto de sanitários que está acoplado ao seu próprio sistema de drenagem de águas residuais.

O estudo realizado na instituição consistiu na realização de furos de sondagem para a determinação do nível da água subterrânea, recolha de amostras de solos, entrevista as entidades escolares e realização de inquérito aos estudantes.

4.4.1. Características hidrológicas e geotécnicas

Foram perfurados três furos de sondagem no recinto da escola com o auxílio do trado manual. Os furos foram abertos no início do período húmido do ano hidrológico. A figura 4.18 apresenta os pontos em que foram realizados os furos.



Figura 4. 18 – S1, S2, S3, pontos de perfuração, ESN2

Fonte: Adptado de <https://earth.google.com/web/search/escola+secundaria+noroeste+2>

As tabelas 4.8, 4.9, e 4.10 apresentam os valores obtidos da leitura feita em campo. As figuras 4.19, 2.20, e 2.21 ilustram os furos realizados em campo.

Primeiro furo de sondagem

Tabela 4. 8 – Registo das medições do NF no primeiro furo de Sondagem, ESN2

Equipamento:	Trado Manual	Data: 06/09/2023
Furo:	S1	
Diâmetro do furo:	850 mm	
Profundidade escavada:	46 cm	
Leituras		
Tempo (min)	Profundidade do NF (cm)	
0	32,50	
05	24,50	
10	23,50	
15	23,50	
20	23,50	
25	23,50	
30	-	

As quatro últimas medições feitas no primeiro furo de sondagem mostraram que o nível de água havia estabilizado, sendo assim interrompeu-se as medições no primeiro furo.



Figura 4. 19 – Registo fotográfico do furo perfurado e de uma das alturas do lençol freático no primeiro furo de Sondagem, ESN2

Segundo furo de sondagem

Tabela 4. 9 – Registo das medições do NF no segundo furo de Sondagem, ESN2

Equipamento:	Trado Manual	Data: 06/09/2023
Furo:	S2	
Diâmetro do furo:	850 mm	
Profundidade escavada:	43 cm	
Leituras		
Tempo (min)	Profundidade do NF (cm)	
00	32,00	
05	25,00	
10	24,00	
15	22,00	
20	21,50	
25	21,40	
30	21,40	

Depois de se fazer os levantamentos no terceiro furo de sondagem, aproximadamente uma (1) hora depois, voltou a se medir a profundidade da água e verificou-se que a mesma não alterou.

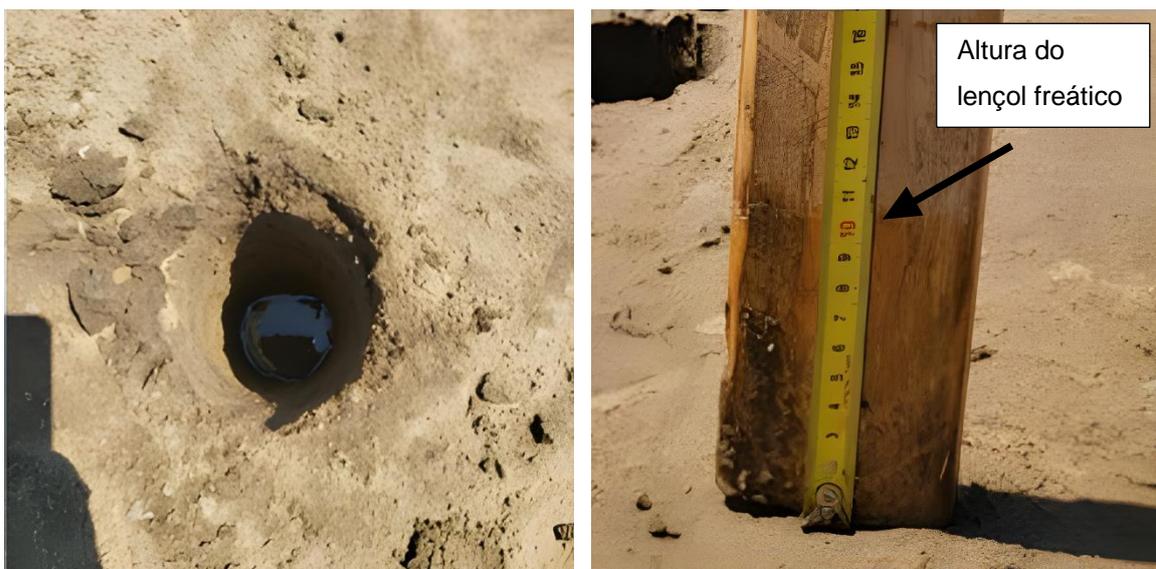


Figura 4. 20 – Registo fotográfico do furo perfurado e de uma das alturas do lençol freático no segundo furo de Sondagem, ESN2

Terceiro furo de sondagem

Tabela 4. 10 – Registo das medições do NF no terceiro furo de Sondagem, ESN2

Equipamento:	Trado Manual	Data: 06/09/2023
Furo:	S2	
Diâmetro do furo:	850 mm	
Profundidade escavada:	74 cm	
Leituras		
Tempo (min)	Profundidade do NF (cm)	
00	37,00	
05	28,00	
10	27,00	
15	26,50	
20	26,20	
25	25,50	
30	25,50	
40	25,50	
50	25,50	



Figura 4. 21 – Registo fotográfico do furo perfurado e de uma das alturas do lençol freático no terceiro furo de Sondagem, ESN2

Os solos colhidos na instituição apresentavam uma coloração castanho-clara, sem nenhuma coesão e os grãos eram de textura fina, como é ilustrado na figura 4.22.



Figura 4. 22 – Amostra de solo da Escola Secundária Noroeste 2

Os solos são classificados como areias mal graduadas com silte, A-3 (0) segundo a classificação da AASTHO ou SP-SM segundo a classificação Unificada. Têm um teor de silte de 6,60 % e são não plásticos.

4.4.2. Entrevistas e observações

Da entrevista realizada aos quadros da escola obteve-se a seguinte informação:

- Ao longo dos anos de funcionamento da escola não se verificou nenhuma anomalia no funcionamento do sistema nos dois períodos do ano (seco e húmido);
- Teve uma manutenção do sistema em 2019/2020. Algum tempo depois da manutenção o sistema verificou uma anomalia, impossibilitando descargas nos sanitários. Para resolver esta situação foram introduzidos produtos aceleradores da decomposição nas fossas sépticas.

Do inquérito realizado aos estudantes foi obtida a informação apresentada na figura 4.23:

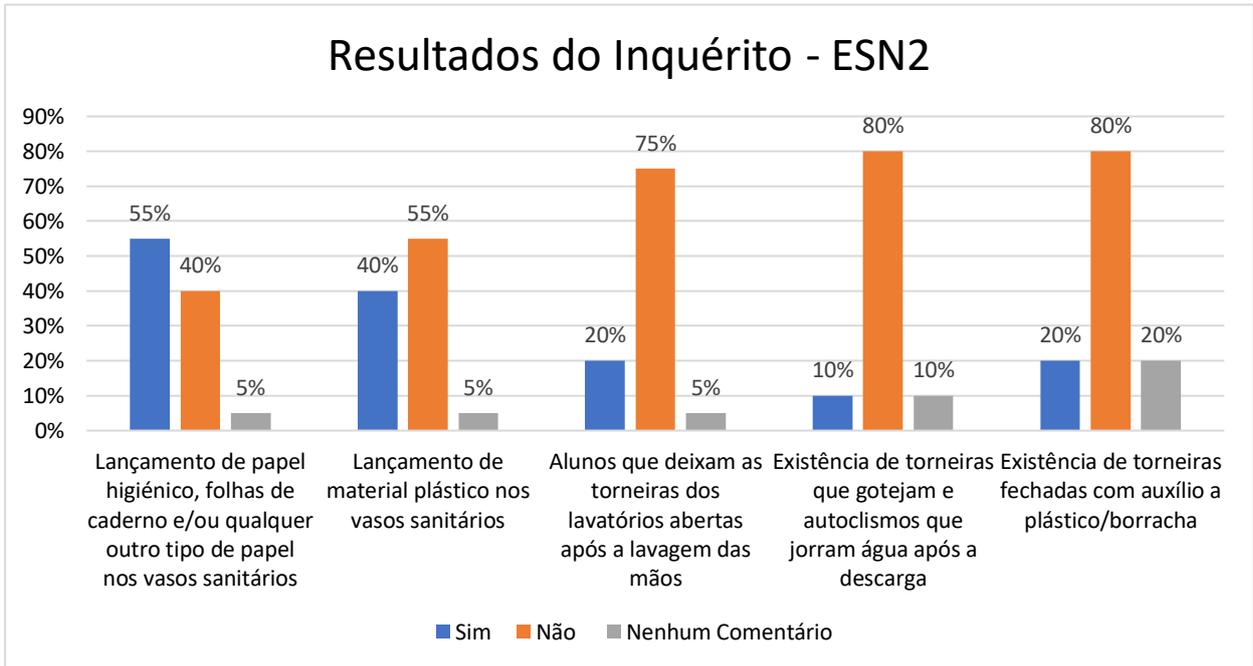


Figura 4. 23 – Resultados percentuais do inquérito sobre as várias práticas de uso dos sanitários, Escola Secundária Noroeste 2

CAPÍTULO V: DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

5.1. Escola Secundária de Chinonanquila

A permeabilidade obtida pelo ensaio Lefranc dá a informação de que em um (1) dia ocorre um rebaixamento das águas na ordem dos 31,36 cm. Pode perceber-se que com o sistema de drenagem adoptado, infiltração vertical, os solos à volta do dreno depressam saturar pela reduzida área drenante deste sistema, fazendo com que as águas transbordem e haja um retorno das águas quando a energia de jusante é superior a energia de montante.

O sistema não foi dimensionado em função da demanda, os drenos existentes têm uma capacidade menor comparada ao que devia ser o valor real. Esse factor influencia no funcionamento do sistema, pois o dreno está a receber um caudal acima do projetado. Este fenómeno, associado ao facto de os solos terem uma baixa capacidade de infiltração compromete ainda mais a funcionalidade do sistema, pois o dreno terá sempre um afluente e o solo por sua vez não terá capacidade de dissipar o afluente aumentando assim a altura de água no dreno que pode chegar até a fazer com que a energia no dreno se iguale a maior do sistema (na primeira caixa à saída do edifício) propiciando o retorno das águas.

O subdimensionamento do sistema pode ser relativo dependendo da capitação de águas residuais utilizada para o efeito. No caso concreto deste trabalho, a bibliografia usada considera 50 l/aluno/dia de capitação para escolas, no entanto, há bibliografia que faz considerações de até 15 l/aluno/dia. Fez-se um cálculo rápido considerando uma capitação de 15 l/aluno/dia e obteve-se um dreno com capacidade duas vezes e meia maior que o dreno do projecto.

A área de um dreno obtida no dimensionamento depende da população que se beneficiará do mesmo, da capitação e da capacidade de infiltração do solo em que o sistema será implantado; sendo directamente proporcional aos primeiros dois parâmetros e inversamente proporcional a capacidade de infiltração. Das comparações acima feitas tendo como parâmetro variável os valores de capitação tabelados/considerados na bibliografia, pode-se perceber que para o mesmo valor de caudal de infiltração no solo, a área superficial requerida para o dreno é maior que a área do projecto. Isso leva ao entendimento de que o caudal de infiltração utilizado para o cálculo da capacidade do dreno é maior, o que só pode ser obtido considerado solos

com boa permeabilidade, e/ou o número de utentes usado para o cálculo da capacidade do dreno é muito baixo em relação a normal ocupação da escola.

Verifica-se também que há um mau uso dos sanitários e há presença de dispositivos de utilização danificados, que estão sempre a jorrar água mesmo fora de uso. É mais que claro que o lançamento de papel e outros materiais é prejudicial ao sistema, primeiro porque o volume de água necessário para que o papel seja descarregado é superior ao de uma descarga normal, normalmente são necessárias duas descargas. Se for considerado um caudal de 4 l/descarga, seriam necessários 8 litros para se fazer a descarga na presença de algum tipo de papel ou mais, considerando outros materiais. Se forem considerados 20% dos alunos da escola a lançar papel no sanitário, pode estimar-se um caudal diário de 480 litros, querendo dizer que o sistema terá uma sobrecarga adicional de 480 litros.

O segundo aspecto é o facto de o papel e/ou outros materiais que eventualmente forem lançados criarem um ambiente propício para a ocorrência de entupimento no sistema, o que significa disfuncionalidade do mesmo.

Quanto aos dispositivos danificados, se for considerado um caudal de 500 ml/min, estima-se um caudal de 720 l/dia por dispositivo danificado o que implica que o sistema estará grandemente carregado.

Nota-se que ao considerar-se os drenos verticais como solução para eliminação das águas residuais através do solo seria necessário mais de um dreno para cada bloco de sala de aulas. A permeabilidade dos solos reduz ligeiramente em profundidade, pois a medida que se vai ao fundo os solos apresentam-se mais compactos. Com isso, devia-se repensar a utilização de um sistema de drenagem vertical das águas residuais.

Indo para o aterro filtrante como uma possível solução para a drenagem das águas, há enquadramento entre a abrangência do sistema e as condições presentes na escola de Chinonanquila. Uma vez que já existe um sistema construído seria necessário encaminhar as águas à saída dos drenos para o ponto em que se construiria um sistema de drenagem em aterro filtrante geral. Pela disposição do sistema em aterro é necessária uma bomba para permitir que o efluente da fossa séptica seja distribuído no aterro, contudo, por ser um aparelho que requer manutenções para o seu bom funcionamento, a bomba não seria uma boa opção, pois os trabalhos de manutenção nas escolas do

nosso país são muito raros e muitas escolas não dispõem sequer de técnicos de manutenção.

Desconsiderando o uso de bombas no sistema, fica-se com a opção de fazer um sistema separado, um para as casas de banho do rés do chão e outras para as casas de banho do primeiro piso. O sistema para as casas de banho do rés do chão seria em dreno vertical, entrando aqui em consideração com a carga hidráulica, ou o sistema de leitos e/ou trincheiras de infiltração e as outras casas de banho usariam o sistema de aterro filtrante.

Seguindo essa linha de pensamento, os sistemas estariam divididos desde a tubagem que encaminha as águas para as fossas sépticas, as fossas sépticas para o sistema do primeiro piso devem ser implantadas acima do nível natural do solo e a saída da tubagem deve ser a uma altura que permita que a água seja encaminhada por gravidade para o aterro. Este tipo de implantação do sistema irá requerer uma projecção arquitectónica bem pensada e enquadrada por questões de estética e também pela acessibilidade e boa estadia no recinto escolar.

Com o dimensionamento feito acima, para o sistema de aterro filtrante, pode notar-se que o sistema requer grandes áreas devido ao caudal afluente ao mesmo, o que leva a concluir que é uma boa solução em situações em que o caudal afluente ao sistema é reduzido.

Uma outra alternativa seria optar somente pelo sistema de leitos ou trincheiras filtrantes que não necessitaria de uma separação dos sistemas, a área drenante seria maior horizontalmente e necessita de escavações reduzidas para implantação do sistema drenante. Uma vez que os solos da escola são semi-permeáveis seria uma opção a considerar a introdução de uma camada de solos bem drenados no sistema, isto é, considerando o sistema de trincheiras, este seria cheio de solos bem drenados 0,50 a 1,00 metro abaixo da base das trincheiras e entre as trincheiras; no caso do sistema de leitos de infiltração, a disposição seria a mesma, bastava desconsiderar o enchimento do leito com brita. Os solos bem drenados suavizariam o fluxo da água da saída da tubagem aos solos existentes na instituição, evitando uma mudança brusca de comportamento.

O sistema em filtro de areia enterrado olhando para o regulamento se adequa as condições semi-permeáveis encontradas na instituição e a sua implementação seria boa

sob o ponto de vista de reutilização das águas para fins diversos, visto que conta com uma tubagem colectora no fundo do mesmo. A reutilização é um bem notável, permitindo a irrigação de áreas verdes no recinto da escola, fornecimento de água para lavagem das casas de banho e outros compartimentos e/ou funções que não necessitem de água potável para o efeito.

O sistema de evapotranspiração, uma vez que considera a evaporação e a transpiração das plantas no processo de tratamento assim como da eliminação da água residual, não seria influenciado pela baixa permeabilidade dos solos presentes em Chinonanquila. Seria necessário um estudo no terreno para identificação do melhor local a implantar pela circulação e segurança dos alunos e também sob o ponto de vista estético. Se as plantas a implantar forem de altura igual ou superior a 1,00 metro, seria melhor considerar áreas distantes do aglomerado dos estudantes.

5.2. Escola secundária de Liberdade e Escola Secundária Noroeste II

Estas duas instituições apresentam alguns resultados próximos, como é o caso da profundidade até o nível freático, o estado em que os aparelhos de utilização se encontram e a classificação dos solos é a mesma, apesar de alguns apresentarem uma percentagem de finos ligeiramente maior.

As duas instituições também enfrentam o problema de lançamento de materiais nos vasos sanitários, isso tem as implicações descritas acima no tópico referente a escola de Chinonanquila. Os autoclismos não estão funcionais nas duas instituições, o que acaba sendo favorável ao sistema, pois o volume de água enviado para os drenos é menor do que o previsto; apesar dos sanitários disporem de tambores contendo água para auxiliar na descarga, isso não altera muito o ponto anterior, pois há muita dificuldade de os alunos realizarem a descarga nos sanitários mesmo com autoclismos em perfeito funcionamento.

As duas escolas têm o lençol freático a uma profundidade inferior a 50 cm, tornando difícil o funcionamento do sistema; pelos solos abaixo da profundidade de 50 cm estarem saturados não tem como as águas infiltrarem através dos drenos de infiltração. É muito importante referir aqui o tempo em que as escolas foram construídas não se verificava tal profundidade do lençol freático, as condições mudaram no ano de 2000 quando ocorreram as cheias que abalaram a zona sul do país.

Para a Escola Secundária da Liberdade o problema torna-se ainda mais agravante pelo facto de estar localizada numa zona baixa, sofrendo também influência da precipitação que ocorre nas zonas altas.

Nestas duas escolas vê-se claramente que o sistema de infiltração vertical não é viável. Recorrer a um sistema que requeira escavação não se torna viável uma vez que o lençol freático está a menos de 50 cm abaixo do nível do solo natural.

O reaproveitamento das águas após tratamento é uma das opções que pode ser explorada neste caso. Para isso seria necessário implantar um pequeno sistema de tratamento de água na escola que tornaria a água suficientemente utilizável para fins não potáveis, um exemplo são as fossas sépticas biodigestoras. A água seria posteriormente usada para a irrigação e outros fins que não necessitam de água potável para serem realizados; o facto de serem escolas já construídas torna difícil a reutilização da água já tratada para realizar descargas nos sanitários, pois seria necessária outra rede de tubagem para encaminhar as águas já tratadas para os sanitários.

O outro sistema que pode ser explorado é o aterro filtrante. As vantagens deste sistema é que possibilita um tratamento eficiente e permite que a água seja infiltrada no solo, a partir da camada não saturada, e posterior encaminhamento para zonas de menor energia, as implicações e/ou possíveis alterações funcionais do sistema são apresentadas no tópico referente a escola de Chinonaquila.

Há que se ter atenção na implantação deste sistema numa zona nas condições como a que se encontra a Escola Secundária da Liberdade, uma vez que ela está localizada numa zona baixa no período chuvoso as inundações podem comprometer e/ou levar o sistema de aterro ao colapso caso não sejam tomadas as devidas precauções em relação as chuvas e enchentes, como barreias de protecção, e deve-se também fazer uma verificação prévia da estabilidade dos taludes do aterro.

Os sistemas de leitos e/ou trincheiras filtrantes seriam de difícil implantação nas condições em que as escolas se encontram, pois, os sistemas seriam praticamente instalados a mesma profundidade em que se encontra o lençol freática ou estariam mesmo embebidos nele, impossibilitando assim a infiltração das águas. Para o funcionamento destes sistemas seria necessário um rebaixamento permanente do lençol freático até a profundidade que possibilite um bom funcionamento do sistema,

esta via seria acompanhada por implicações económicas e também na região em que as instituições estão localizadas.

O sistema de evapotranspiração é também um que deve ser analisado neste tópico. Como foi referido acima, o seu processo de tratamento e eliminação da água residual não depende das características dos solos existentes, contudo, a sua implantação sim. Para além das implicações estéticas e de segurança, nestas duas instituições a implantação pode ser problemática por conta da profundidade a que o lençol freático está situado, caso se queira fazer o uso deste sistema há que considerar aqui o rebaixamento permanente do lençol freático até uma profundidade que permitam que tanto a implantação assim como o funcionamento do sistema sejam eficientes.

5.3. Instituto Industrial e Comercial da Matola

No IICM verificou-se a disfuncionalidade total dos lavatórios (todos eles apresentavam-se em torneiras) e dos autoclismos, dos sanitários visitados, principalmente os femininos, os vasos sanitários estavam cheios de papel e absorventes. Apesar de estarem disponíveis tambores cheios de água para auxiliar na descarga, verificou-se que os alunos não fazem o devido uso da mesma, isso sustenta o ponto colocado acima sobre os drenos não estarem a receber o caudal para o qual foram projectados e estarem sempre aliviados.

O facto de o lençol freático estar a uma profundidade de cerca de 1,20 metros, cerca de 20 centímetros acima do fundo do dreno, não alterou significativamente a altura útil do dreno, o que acoplado a questão da disfuncionalidade dos dispositivos de utilização favorece ainda mais o dreno. Importa também referir que os solos presentes nesta instituição são classificados como solos bem drenados, a coloração avermelhada que apresentam dá fortes indicações da presença de óxidos de ferro, o que confere normalmente aos solos uma boa permeabilidade.

Uma vez que o nível do lençol freático está quase que a mesma profundidade que o fundo dos drenos, a água subterrânea fica propensa a contaminação pelas águas provenientes das fossas sépticas pelo facto de estas não estarem ainda em condições de serem lançadas em fontes de água, sejam elas subterrâneas e/ou superficiais.

Apesar de os drenos estarem operacionais, não se sabendo se se deve ao facto do lençol freático estar a uma profundidade reactivamente baixa ou ao facto dos drenos

não estarem a receber o afluente previsto, os drenos verticais ficam descredibilizados como solução de drenagem pelo facto de propiciarem a contaminação das águas subterrâneas.

O sistema em aterro filtrante entra com muitas questões estéticas e/ou arquitectónicas e implicações sobre o ponto de vista de concepção até a sua implantação como foi referido acima. Para o caso do IICM, uma vez que há presença de uma camada não saturada com pelo menos 1,20 de profundidade, optar pelo sistema de aterro filtrante implicaria menores alturas do próprio sistema caso se considere no dimensionamento a camada não saturada do solo como parte integrante o sistema sob o ponto de vista de tratamento e eliminação da água residual por infiltração no solo.

Há disponíveis 1,20 metros de profundidade para a implantação de um sistema in situ de drenagem de águas residuais. O regulamento prevê, para a implantação de trincheiras e/ou leitos de infiltração, uma profundidade de camada permeável de 1,00 a 2,00 metros contado a partir da base do sistema e que o lençol freático se situe abaixo dessa profundidade. A princípio o sistema de leitos e/ou trincheiras de infiltração não se adequa as características existentes no terreno, pois a ter que se implantar o sistema este estaria a uma profundidade mínima de 50 cm, ficando-se com um máximo de 70 cm para a ocorrência da infiltração e conseqüente tratamento das águas. Uma alternativa para resolução da questão da profundidade seria optar por aumentar o comprimento dos drenos, aumentando assim a área drenante e dar aos tubos uma inclinação que conceda boa distribuição das águas ao longo do seu comprimento.

Recorrer ao sistema de evapotranspiração para o tratamento e eliminação das águas residuais seria por um lado não fazer um bom aproveitamento das condições geotécnicas e hidrológicas presentes na instituição, pois, favorecem a infiltração e o lençol freático está a uma profundidade considerável. Contudo, as implicações deste sistema são as mesmas descritas no tópico da ESEFJN: estética e segurança.

CAPÍTULO VI: CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Com o estudo realizado foi possível verificar que os problemas enfrentados nas escolas afectadas pelo estudo são: disfuncionalidade de alguns dos sistemas e transbordo e/ou retorno das águas residuais. Estes problemas são causados pela má utilização, alteração das condições de drenagem da região e o dimensionamento dos próprios sistemas de gestão de águas residuais.

As escolas Secundária da Liberdade, Noroeste II e Instituto Industrial da Matola sofreram alterações nas suas condições de drenagem ao longo dos anos, isso devido aos eventos climáticos que foram ocorrendo ao longo dos anos e também à crescente urbanização. A escola Secundária da Liberdade é a que mais sofreu influência da urbanização, uma vez que se encontra numa zona baixa, o aumento do escoamento superficial faz com que ela fique inundada nos períodos chuvosos.

Todas as escolas contempladas pelo estudo apresentam um elevado índice no que respeita a utilização dos sanitários e a funcionalidade dos próprios dispositivos de utilização. Apesar da disfuncionalidade dos dispositivos de utilização aluviar até certo ponto os sistemas de drenagem de água residual em relação a sua projecção, a má utilização dos sanitários multiplica os problemas nos mesmos, desde a sobrecarrega do sistema ao entupimento do mesmo.

O sistema de drenagem que recorre aos drenos de infiltração vertical, apesar de terem sido e ainda serem muito utilizados como solução convencional tanto em residências assim como em várias escolas ao longo do país, apresentam muitas limitações e desvantagens comparados a outros sistemas. Quando se trata de pequenos agregados populações torna-se vantajoso o uso deste sistema, mas para edificações como escolas a sua implementação é desvantajosa pelos seguintes motivos: requer grandes profundidades de escavação para obtenção de maiores áreas superficiais de drenagem, apresenta limitações no valor do diâmetro a utilizar o que faz com que se recorra a vários drenos para volumes do efluente maiores, e pela sua disposição é mais propenso a causar contaminação as águas subterrâneas assim como das águas superficiais quando a infiltração está condicionada.

No que concerne a utilização dos drenos verticais em escolas com baixa permeabilidade e elevado lençol freático constata-se que não apresentam uma boa eficiência no

funcionamento. Ainda que os problemas não sejam notáveis numa primeira fase, o seu efeito é sempre sentido a longo prazo.

É possível notar também que os sistemas de drenagem com recurso a infiltração são facilmente afectados pelas mudanças das características do terreno. No caso dos drenos verticais das escolas Secundária da Liberdade, Noroeste II e Instituto Industrial da Matola o nível do lençol freático sofreu mudanças ao longo do tempo e isso afectou directamente o comportamento e funcionamento do sistema. Este aspecto reforça a questão da necessidade da concepção, projecção e implementação dos sistemas tendo em conta as condições mais desfavoráveis a que estarão sujeitos e tendo em conta os fenómenos naturais propensos a ocorrer em certas áreas.

No caso da Escola Secundária de Chinonanguila, o funcionamento deste tipo de sistema foi condicionado pela capacidade de infiltração dos solos. Neste tipo de solos, optar por soluções de drenagem horizontal mostra-se funcional, uma vez que aumentam a área drenante por onde a infiltração ocorre.

São necessárias concepções e dimensionamentos de sistemas de drenagem de águas residuais em função das condições do terreno de cada escola. Os sistemas convencionais, fossa séptica e dreno vertical, foram muito úteis no passado, mas com o crescente registo da ocorrência de fenómenos naturais com intensidades cada vez mais elevados em relação ao que se vivia no passado torna-se necessário a exploração de outros sistemas que se podem mostrar eficientes.

Pelos dimensionamentos feitos no desenvolvimento do trabalho, pode-se concluir que: apesar de serem uma boa solução de drenagem para locais com o nível do lençol freático elevado e com solos de baixa permeabilidade, o sistema de Aterro Filtrante não se mostra uma solução favorável para escolas por requerer grandes áreas, isso pelo caudal que é produzido e posteriormente descarregado pelas mesmas. Para locais com baixo caudal afluyente, mostra-se uma boa solução.

Os tanques Imhoff por sua vez, mostram ser uma solução boa para escolas no que se refere ao tratamento primário do efluente. Comparadas com as fossas sépticas, os tanques Imhoff requerem pequenos volumes para o mesmo caudal e uma qualidade do caudal afluyente com reduzido volume de lodos, pela separação entre a zona de sedimentação e digestão. Em contrapartida, o tanque Imhoff requer grandes profundidades comparado com a fossa séptica, o que pode ser ultrapassado se forem

considerados tanques semienterrados. Os tanques semienterrados são uma boa solução quando acoplados ao sistema de Aterro Filtrante, uma vez que excluíam o uso de bombas hidráulicas.

Optar por sistemas que possibilitam o reaproveitamento das águas, como os Filtros de Areia, em zonas com essas condicionantes é uma boa solução, uma vez que reduziria a demanda de água para outras necessidades.

Recomendações

Pelos resultados obtidos nos estudos realizados tecem-se as seguintes recomendações para a concepção e implantação de sistemas em escolas com baixa permeabilidade e elevado lençol freático:

1. Deve se analisar a adequabilidade de outros sistemas de drenagem de águas residuais diferente do convencional, fossa séptica e dreno vertical, pois podem mostrar-se mais eficientes;
2. Fazer o uso de softwares que possibilitam a simulação do funcionamento do sistema ao longo do tempo sob o ponto de vista da área de influência do dreno, saturação e alívio do mesmo ao longo do tempo de modo a analisar a sua eficiência;
3. Considerar os tanques Imhoff como unidade de tratamento primário em escolas com essas condições de terreno;
4. As instituições escolares devem ser implantadas em zonas altas, de modo a evitar que sejam fortemente afectadas pelo curso das águas superficiais;
5. Devem ser promovidas palestras, com mais frequência, nas escolas sobre o uso dos sanitários.

Para a Escola Secundária de Chinonanquila recomenda-se:

- Construir um sistema horizontal de drenagem de águas residuais baseado em trincheiras de infiltração, com as seguintes especificações:
 - Largura das trincheiras: 60 cm;
 - Afastamento entre trincheiras e largura das bordas: 2,00 m;
 - Profundidade das trincheiras: min. 1,00 m;

- Substituir os solos, por solos bem drenados, numa profundidade de 1,00 metro abaixo da profundidade das trincheiras e para o enchimento da escavação.

CAPÍTULO VII: BIBLIOGRAFIA

7.1. Referências Bibliográficas

1. Cogger, C. G. 1987 – Basic principles of on-site sewage. Washington State Department of Health, Washington.
2. Collado, R. & Díez, R. 2010 – Wastewater treatment facilities for isolated buildings, World Congress on Housing. University of Cantabria, Santander, Spain.
3. Converse, J. C. & Tyler, E. J. 2000 – Wisconsin mound soil absorption system: Siting, design and construction manual, 2ª Ed. College of Agriculture and Life Sciences
4. Crites, R. W., Reed, S. C. & Middlebrooks, E. J. 2006 – Natural wastewater treatment systems. Taylor & Francis Group, LLC. United States of America. ISBN: 0849338042.
5. Das, B. M. 2006 – Fundamentos de engenharia geotécnica, 6ª Ed. Cantarelli, L. C., Thomson Learning, Inc.
6. Feitosa, V. R., Machado, E. E. W., Neto, E. S., Onuki, M. R., Rodrigues, M. R., Quintieri, F. A. & Silva, E. R. s.d. – Manual de Saneamento, 3ª Ed., Dos Santos, M. L. M. M. Brasil.
7. Evapotranspiration – em “Decentralized systems technology”. 2000. United States Environmental Protection Agency – U.S. EPA, Washington, D.C. ISSN: EPA 832-F-00-033.
8. Evapotranspiration systems. 2000, vol. 11, n. 1. Small Community Wastewater Issues Explained to the Public.
9. Gil, A. C. 2008 – Métodos e técnicas de pesquisa social, 6ª Ed. Atlas. ISBN: 9788522451425.
10. Hygnstrom, J. R., Skipton, S. O. & Woldt, W. 2011a – The role of soil – em “Residential onsite wastewater treatment”, 3ª Ed. University of Nebraska, Lincoln, Nebraska. G1468.
11. Hygnstrom, J. R., Skipton, S. O. & Woldt, W. 2011b – Conducting a soil percolation test – em “Residential onsite wastewater treatment”, 3ª Ed. University of Nebraska, Lincoln. G1472.
12. Intermittent sand filters – em “Wastewater Technology”. 1999. United States Environment Protection Agency – U.S. EPA, Washington, D.C. EPA 932-F-99-067.

13. Johnson, A. I. 1991 – A field method for measurement of infiltration: General ground-water techniques, 2ª Ed. Geological Survey Water-Supply. United States Department of Interior, Washington. p. 10-15. ISBN: 1544-F.
14. Kriška, M., Šálek, J., Bodík, I., Istenič, D. & Rozkošný, M. 2014 – Natural technologies of wastewater treatment. Global Water Partnership Central and Eastern Europe – GWP CEE. ISBN: 9788021448315.
15. Magala, S., Toppo, P. & Ghoshal, S. 2016 – Study of infiltration capacity of different soils, vol 3, n. 2. International Journal of Trend in Research and Development. p. 388-390. ISSN: 2394-9333.
16. McClelland, N. I. 1978 – Individual onsite wastewater systems. ANN ARBOR SCIENCE Publishers, Inc.
17. Netto, J. M. A. 1963 – Decantadores não mecanizados, cap. 7, de “Curso de tratamento de águas residuárias”. Revista DAE. p. 54-63.
18. Onsite wastewater treatment systems manual. 2002. U.S. Environment Protection Agency – EPA. EPA/625/R-00/008.
19. Pedroso, V. M. R. 2008 – Manual dos sistemas prediais de distribuição e drenagem de águas, 4ª Ed. Laboratório Nacional de Engenharia – LNEC.
20. Rapid infiltration land treatment – em “Wastewater technology”. 2003. United States Environment Protection Agency – U.S. EPA, Washington, D.C. EPA 832-F-03-025.
21. Rennekamp, R., Gunarathna, N. M. & Mancl, K. 2016 – Mound systems for onsite wastewater treatment: Siting, design and construction in Ohio, Boletim 813. The Ohio State University, Columbus.
22. Riemersma, J. J. 2021 – Stormwater standards manual: Procedures & design for stormwater management. Grand Valley State University, Michigan.
23. Sand filters provide quality, low-maintenance treatment. 1997, vol. 8, n. 3. National Small Flows Clearinghouse.
24. Sanks, R. L. & Asano, T. 1976 – Land treatment and disposal of municipal and industrial wastewater. Ann Arbor Science Publishers, Inc. ISBN: 0-250-40105-3.
25. Solomon, C., Casey, P., Mackne, C. & Lake, A. 1998 – Mounds systems. National Small Flows Clearinghouse.
26. Winneberger, J. H. T. 1974 – Manual of grey water treatment practice. Ann Arbor Science Publishers, Inc.

7.2. Outra Bibliografia Consultada

1. Biazus, A. C. 2015 – Reúso de águas cinzas para fins não potáveis em edificação residencial multifamiliar. Trabalho de Conclusão do Curso, Universidade de Passo Fundo.
2. De Moraes Jr., A. C. 2017 – Análise de soluções alternativas para disposição para disposição de efluentes domésticos em habitações populares. Trabalho de Conclusão do Curso, Universidade Federal do Pampa, Alegrete.
3. De Sousa, T. C. R. 2016 – Estações de tratamento de águas residuais: Conceito e dimensionamento. Trabalho de Conclusão do Curso. Instituto Superior de Engenharia do Porto, Porto.
4. Decreto Regulamentar n.º 23/95. Diário da República, Série I-B, n.º 194, de 1995/08/23, Portugal.
5. Design and construction of sewers, chapter 3. [https://www.davuniversity.org/images/files/study-material/Environmental%20engineering_chapter3%20\(1\).pdf](https://www.davuniversity.org/images/files/study-material/Environmental%20engineering_chapter3%20(1).pdf)
6. Donath, F. 2010 – Pré-dimensionamento de um digestor anaeróbico para o tratamento do lodo de estação de tratamento de esgoto doméstico. Trabalho de Conclusão do Curso. Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina.
7. Fane, S., Reardon, C. & Milne, G. 2013 – Wastewater reuse. [Consult. 21/11/2023]. dceew.gov.au
8. Heger, S. 2021 – The importance of topography and landscape position in septic system installation. [Consult. 17/11/2023]. septic@umn.edu
9. Heger, S. 2022 – System site plans: Site review of topography and existing conditions. [Consult. 17/11/2023]. https://www.onsiteinstaller.com/online_exclusives/2022/05/system-site-plans-site-review-of-topography-and-existing-conditions
10. Martins, D. M. A. 2017 – Optimização da sedimentação primária no tratamento de águas residuais: Simulação e aplicação de técnicas estatísticas. Dissertação. Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Lisboa.
11. Moresi, E. 2003 – Metodologia da pesquisa. Universidade Católica de Brasília.
12. RSPDADAR, n.º 30/2003. Boletim da República, Série I-26, de 2003/07/01, Moçambique.
13. Soares, C. A. 2018 – Tratamento de águas cinzentas domésticas através de paredes verdes. Dissertação. Instituto Superior Técnico de Lisboa, Lisboa.

14. Tavares, L. A. 2008 – Sistemas simplificados de saneamento de águas residuais: Abordagem integrada. Dissertação. Instituto Superior Técnico de Lisboa, Lisboa.

ANEXOS

ANEXO 1 – Modelo do Questionário feito aos Alunos

QUESTIONÁRIO SOBRE O USO DOS SANITÁRIOS E LAVATÓRIOS



1. Lançar papel higiénico, folhas de caderno e/ou qualquer outro tipo de papel no vaso sanitário



Certo

Errado

Sem opinião

2. Lançar material plástico no vaso sanitário



Certo

Errado

Sem opinião

3. Quais casos são verificados nos lavatórios da escola:

a) Alunos deixam as torneiras abertas após o uso.



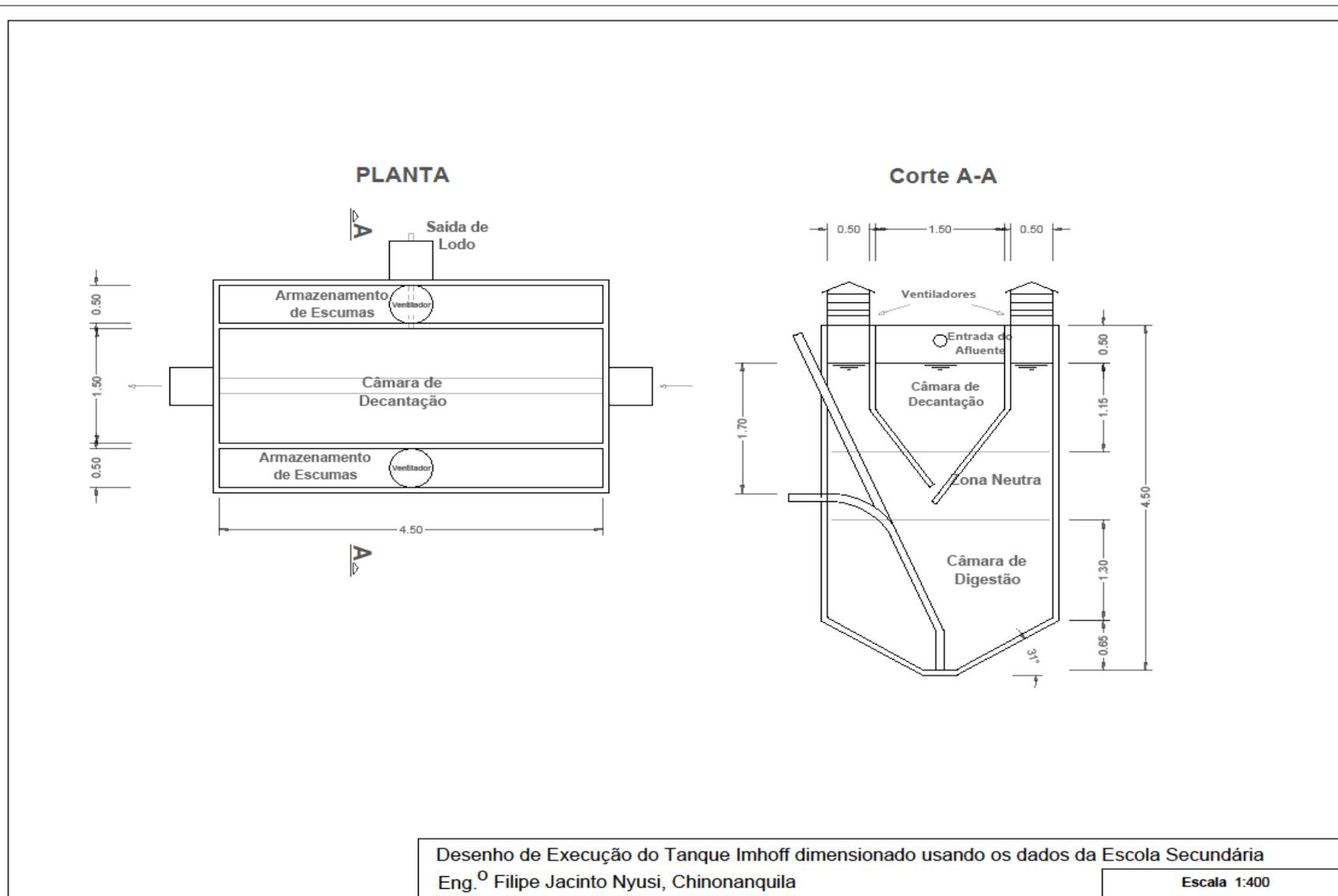
b) Torneiras que gotejam e autoclismos que jorram água depois da descarga.

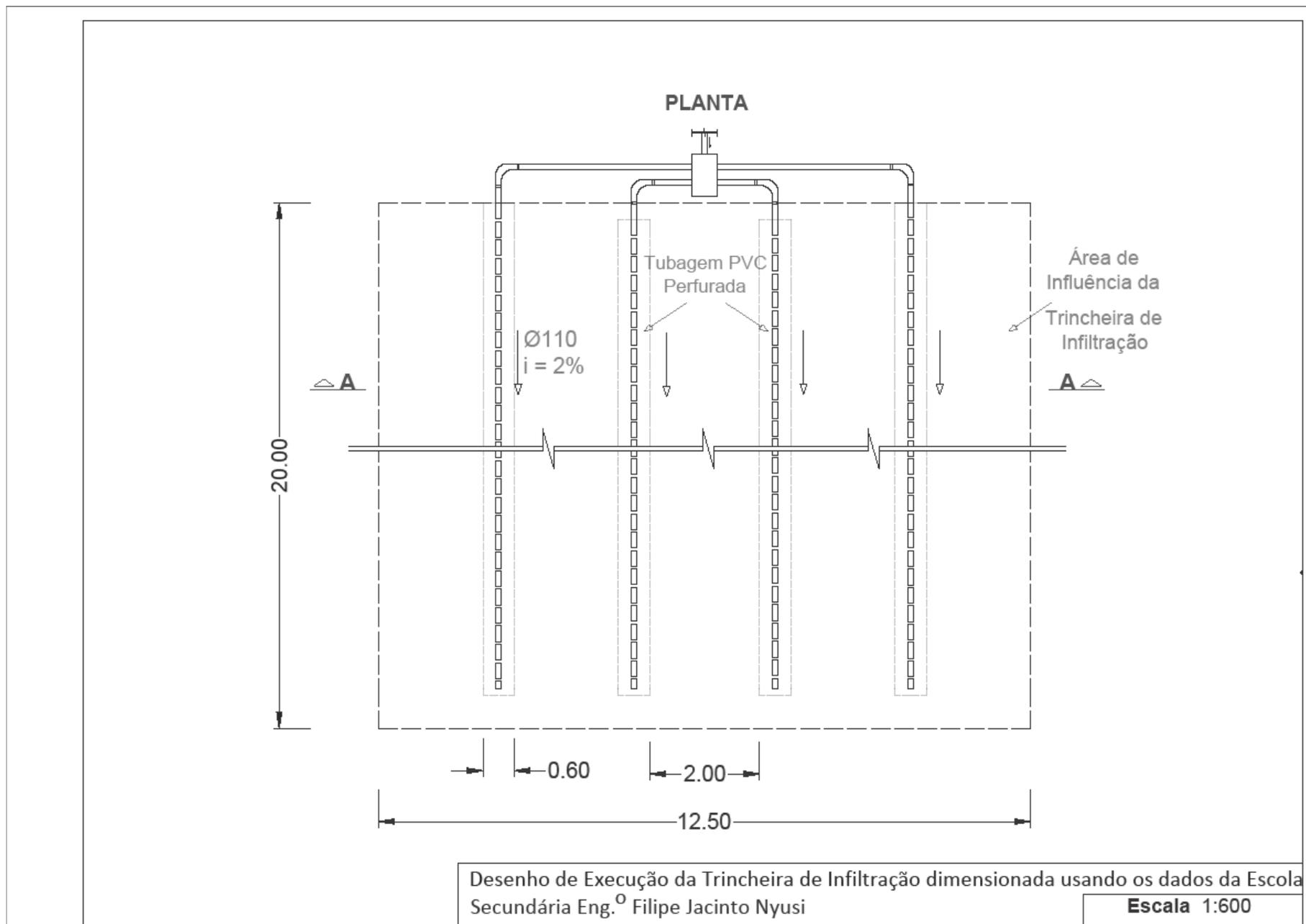


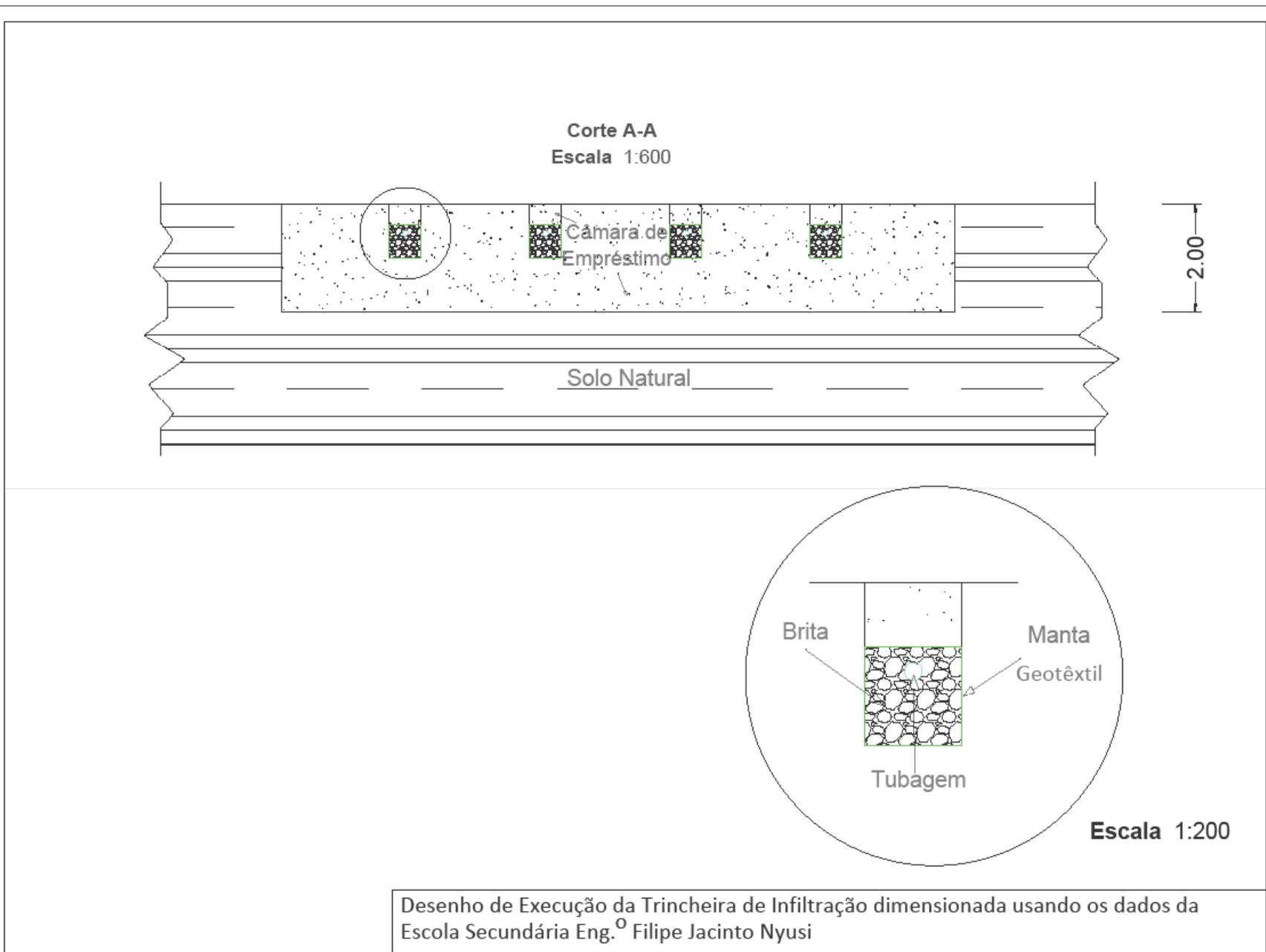
c) Torneiras fechadas com auxílio de plástico/borracha.



ANEXO 2 – Desenhos do Novo Sistema Proposto







ANEXO 4 – Registos do ensaio Lefranc



Geo-sitio
Técnicas de Água, Geotécnicas e Hidrogeologia

ENSAIO DE PERMEABILIDADE LEFRANC
FOLHA DE APRESENTAÇÃO DE RESULTADOS

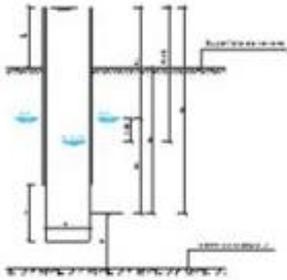
OBRA Nº: **23002**

Sondagem Nº: **S1**

DESIGNAÇÃO: **Escola Secundária Filipe Jacinto Nyusi**

Ensaio nº: **1**

Data: **03-08-2023**



Ensaio a nível variável ou constante

Ensaio a nível constante	x	Ensaio a nível variável	
Diâmetro da lanterna B:	0,104 m	Comprimento da lanterna: L	1,00 m
ALT. do tubo acima do terreno: HT	1,00 m	Nível piezométrico: HP	2,20 m
Distância do NF a meio da lanterna: Hw	1,30 m	Nível freático acima do terreno (s/n)	n
Profundidade média da cavidade: Hc	2,50 m	Distância à base do aquífero: H	
c=L/B	9,61538	Duração do ensaio a nível constante	60,00 min
m0=	20,416	(não contando o abaixamento posterior)	
Cavidade afastada dos limites do aquífero (s/h)			s
m=	20,416		

Ensaio a nível variável ou constante

t (min)	Leitura do contador (m3)	Q (l)	Rebaixamento (cm)	He (m)
0	2,000			
1	2,000	0,25		
2	2,001	0,25		
3	2,001	0,25		
4	2,001	0,25		
5	2,002	0,75		
6	2,002	0,25		
7	2,002	0,125		
8	2,002	0,125		
9	2,002	0,125		
10	2,003	0,125		
11	2,003	0,125		
12	2,003	0,125		
13	2,003	0,125		
14	2,003	0,125		
15	2,003	0,25		
16	2,004	0,25		
17	2,004	0,125		
18	2,004	0,125		
19	2,004	0,125		
20	2,004	0,125		
25	2,006	1,5		
30	2,007	1,5		
35	2,009	1,5		
40	2,010	1,5		
45	2,012	1,5		
50	2,014	2		
55	2,016	2		
80	2,018	2		

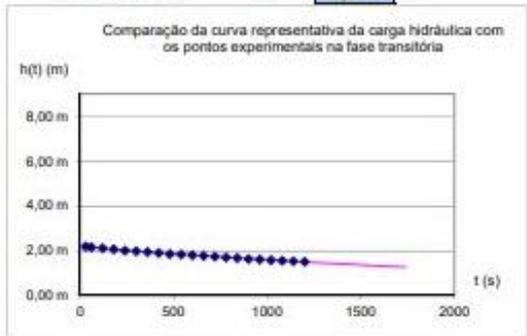
Abaixamento depois do ensaio a nível constante

t (min)	Rebaixamento (cm)	He (m)
0,5	1,25	2,19 m
1	3,9	2,16 m
2	8,5	2,12 m
3	13,5	2,07 m
4	19	2,01 m
5	22	1,98 m
6	25,6	1,94 m
7	30	1,90 m
8	35	1,85 m
9	37,1	1,83 m
10	40	1,80 m
11	43,1	1,77 m
12	46,5	1,74 m
13	49,5	1,71 m
14	52,5	1,68 m
15	56,5	1,64 m
16	59	1,61 m
17	62	1,58 m
18	64,5	1,56 m
19	67	1,53 m
20	69	1,51 m
21	71	1,49 m
22	73,2	1,47 m
23	75,7	1,44 m
24	78	1,42 m
25	80	1,40 m
26	82,3	1,38 m
27	84,1	1,36 m
28	85,5	1,35 m
29	87,6	1,32 m

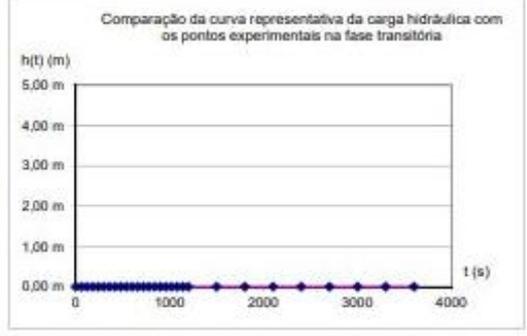
Análise do ensaio a nível constante

Fase estabilizada: $k_L = 1,04E-06$ m/s

Fase transitória: $k_L = 1,3E-06$ m/s



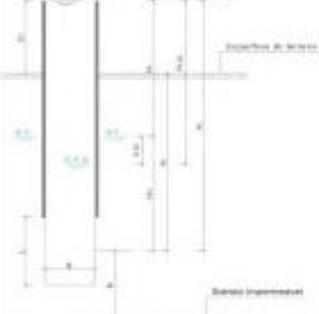
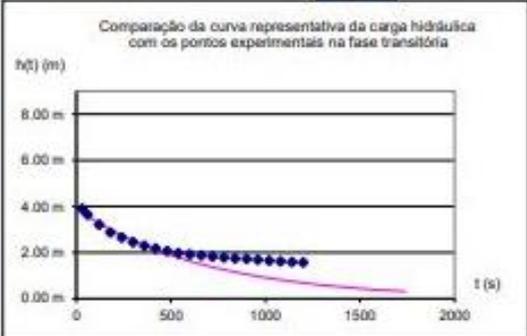
Análise do ensaio a nível variável $k_L =$ m/s



Nota: He é a carga hidráulica acima do nível freático

Análise feita de acordo com a norma NF P 94-132, assumindo que o ensaio é feito abaixo do nível freático. Caso esta condição não se verifique, estes resultados devem ser considerados como meramente indicativos.

Observações:

		ENSAIO DE PERMEABILIDADE LEFRANC FOLHA DE APRESENTAÇÃO DE RESULTADOS																																																																																																																																																																																																																																																			
OBRA Nº: 23001	DESIGNAÇÃO: Escola Secundária Filipe Jacinto Nyusi	Data: 03/08/2023																																																																																																																																																																																																																																																			
Sondagem Nº: S2	Ensaio nº: 2																																																																																																																																																																																																																																																				
	Ensaio a nível constante	<input checked="" type="checkbox"/>	Ensaio a nível variável	<input type="checkbox"/>																																																																																																																																																																																																																																																	
	Diâmetro da lanterna B:	0.104 m	Comprimento da lanterna: L	1.00 m																																																																																																																																																																																																																																																	
	Alt. do tubo acima do terreno: HT	1.00 m	Nível piezométrico: HP	4.17 m																																																																																																																																																																																																																																																	
	Distância do NF a meio da lanterna: Hw	-0.67 m	Nível freático acima do terreno (s/n)	n																																																																																																																																																																																																																																																	
	Profundidade média da cavidade: Hc	2.50 m	Distância à base do aquífero: H																																																																																																																																																																																																																																																		
	c=L/B	9.61538	Duração do ensaio a nível constante	60.00 min																																																																																																																																																																																																																																																	
	m0=	20.416	(não contando o abalxamento posterior)																																																																																																																																																																																																																																																		
	Cavidade afastada dos limites do aquífero (s/n)			s																																																																																																																																																																																																																																																	
	m=	20.416																																																																																																																																																																																																																																																			
	Ensaio a nível variável ou constante		Abalxamento depois do ensaio a nível constante																																																																																																																																																																																																																																																		
<table border="1"> <thead> <tr> <th>t (min)</th> <th>Leitura do contacto (m3)</th> <th>Q (l)</th> <th>Rebaixamento (cm)</th> <th>He (m)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>2.000</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>1</td><td>2.006</td><td>6</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>2</td><td>2.013</td><td>7</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>3</td><td>2.020</td><td>7</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>4</td><td>2.026</td><td>6</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>5</td><td>2.032</td><td>6</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>6</td><td>2.038</td><td>6</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>7</td><td>2.044</td><td>6</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>8</td><td>2.050</td><td>6</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>9</td><td>2.056</td><td>6</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>10</td><td>2.062</td><td>6</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>11</td><td>2.068</td><td>6</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>12</td><td>2.074</td><td>6</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>13</td><td>2.080</td><td>6</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>14</td><td>2.086</td><td>6</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>15</td><td>2.092</td><td>6</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>16</td><td>2.098</td><td>6</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>17</td><td>2.104</td><td>6</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>18</td><td>2.110</td><td>6</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>19</td><td>2.116</td><td>6</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>20</td><td>2.122</td><td>6</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>25</td><td>2.153</td><td>31</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>30</td><td>2.183</td><td>30</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>35</td><td>2.211</td><td>28</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>40</td><td>2.239</td><td>28</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>45</td><td>2.266</td><td>27</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>50</td><td>2.294</td><td>28</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>55</td><td>2.322</td><td>28</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>60</td><td>2.360</td><td>28</td><td></td><td></td></tr> </tbody> </table>	t (min)	Leitura do contacto (m3)	Q (l)	Rebaixamento (cm)	He (m)	0	2.000				1	2.006	6			2	2.013	7			3	2.020	7			4	2.026	6			5	2.032	6			6	2.038	6			7	2.044	6			8	2.050	6			9	2.056	6			10	2.062	6			11	2.068	6			12	2.074	6			13	2.080	6			14	2.086	6			15	2.092	6			16	2.098	6			17	2.104	6			18	2.110	6			19	2.116	6			20	2.122	6			25	2.153	31			30	2.183	30			35	2.211	28			40	2.239	28			45	2.266	27			50	2.294	28			55	2.322	28			60	2.360	28			<table border="1"> <thead> <tr> <th>t (min)</th> <th>Rebaixamento (cm)</th> <th>He (m)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0.5</td><td>28</td><td>3.89 m</td></tr> <tr><td>1</td><td>54</td><td>3.63 m</td></tr> <tr><td>2</td><td>96</td><td>3.21 m</td></tr> <tr><td>3</td><td>130</td><td>2.87 m</td></tr> <tr><td>4</td><td>152</td><td>2.65 m</td></tr> <tr><td>5</td><td>172</td><td>2.45 m</td></tr> <tr><td>6</td><td>188</td><td>2.29 m</td></tr> <tr><td>7</td><td>199</td><td>2.18 m</td></tr> <tr><td>8</td><td>211</td><td>2.06 m</td></tr> <tr><td>9</td><td>220</td><td>1.97 m</td></tr> <tr><td>10</td><td>225</td><td>1.92 m</td></tr> <tr><td>11</td><td>230</td><td>1.87 m</td></tr> <tr><td>12</td><td>235</td><td>1.82 m</td></tr> <tr><td>13</td><td>239</td><td>1.78 m</td></tr> <tr><td>14</td><td>243</td><td>1.74 m</td></tr> <tr><td>15</td><td>245</td><td>1.72 m</td></tr> <tr><td>16</td><td>249</td><td>1.68 m</td></tr> <tr><td>17</td><td>252</td><td>1.65 m</td></tr> <tr><td>18</td><td>255</td><td>1.62 m</td></tr> <tr><td>19</td><td>258</td><td>1.59 m</td></tr> <tr><td>20</td><td>260</td><td>1.57 m</td></tr> <tr><td>21</td><td>261</td><td>1.56 m</td></tr> <tr><td>22</td><td>263</td><td>1.54 m</td></tr> <tr><td>23</td><td>264</td><td>1.53 m</td></tr> <tr><td>24</td><td>266</td><td>1.51 m</td></tr> <tr><td>25</td><td>267</td><td>1.50 m</td></tr> <tr><td>26</td><td>268</td><td>1.49 m</td></tr> <tr><td>27</td><td>270</td><td>1.47 m</td></tr> <tr><td>28</td><td>271</td><td>1.46 m</td></tr> <tr><td>29</td><td>272</td><td>1.45 m</td></tr> </tbody> </table>	t (min)	Rebaixamento (cm)	He (m)	0.5	28	3.89 m	1	54	3.63 m	2	96	3.21 m	3	130	2.87 m	4	152	2.65 m	5	172	2.45 m	6	188	2.29 m	7	199	2.18 m	8	211	2.06 m	9	220	1.97 m	10	225	1.92 m	11	230	1.87 m	12	235	1.82 m	13	239	1.78 m	14	243	1.74 m	15	245	1.72 m	16	249	1.68 m	17	252	1.65 m	18	255	1.62 m	19	258	1.59 m	20	260	1.57 m	21	261	1.56 m	22	263	1.54 m	23	264	1.53 m	24	266	1.51 m	25	267	1.50 m	26	268	1.49 m	27	270	1.47 m	28	271	1.46 m	29	272	1.45 m	<p>Fase estabilizada: $k_L = 1.10E-05$ m/s</p> <p>Fase transitória: $k_L = 5.8E-06$ m/s</p> <p>Comparação da curva representativa da carga hidráulica com os pontos experimentais na fase transitória</p>  <p>Análise do ensaio a nível variável $k_L =$ <input type="text"/> m/s</p> <p>Comparação da curva representativa da carga hidráulica com os pontos experimentais na fase transitória</p>  <p>Nota: He é a carga hidráulica acima do nível freático</p> <p>Análise feita de acordo com a norma NF P 94-132.</p> <p>Observações:</p>
t (min)	Leitura do contacto (m3)	Q (l)	Rebaixamento (cm)	He (m)																																																																																																																																																																																																																																																	
0	2.000																																																																																																																																																																																																																																																				
1	2.006	6																																																																																																																																																																																																																																																			
2	2.013	7																																																																																																																																																																																																																																																			
3	2.020	7																																																																																																																																																																																																																																																			
4	2.026	6																																																																																																																																																																																																																																																			
5	2.032	6																																																																																																																																																																																																																																																			
6	2.038	6																																																																																																																																																																																																																																																			
7	2.044	6																																																																																																																																																																																																																																																			
8	2.050	6																																																																																																																																																																																																																																																			
9	2.056	6																																																																																																																																																																																																																																																			
10	2.062	6																																																																																																																																																																																																																																																			
11	2.068	6																																																																																																																																																																																																																																																			
12	2.074	6																																																																																																																																																																																																																																																			
13	2.080	6																																																																																																																																																																																																																																																			
14	2.086	6																																																																																																																																																																																																																																																			
15	2.092	6																																																																																																																																																																																																																																																			
16	2.098	6																																																																																																																																																																																																																																																			
17	2.104	6																																																																																																																																																																																																																																																			
18	2.110	6																																																																																																																																																																																																																																																			
19	2.116	6																																																																																																																																																																																																																																																			
20	2.122	6																																																																																																																																																																																																																																																			
25	2.153	31																																																																																																																																																																																																																																																			
30	2.183	30																																																																																																																																																																																																																																																			
35	2.211	28																																																																																																																																																																																																																																																			
40	2.239	28																																																																																																																																																																																																																																																			
45	2.266	27																																																																																																																																																																																																																																																			
50	2.294	28																																																																																																																																																																																																																																																			
55	2.322	28																																																																																																																																																																																																																																																			
60	2.360	28																																																																																																																																																																																																																																																			
t (min)	Rebaixamento (cm)	He (m)																																																																																																																																																																																																																																																			
0.5	28	3.89 m																																																																																																																																																																																																																																																			
1	54	3.63 m																																																																																																																																																																																																																																																			
2	96	3.21 m																																																																																																																																																																																																																																																			
3	130	2.87 m																																																																																																																																																																																																																																																			
4	152	2.65 m																																																																																																																																																																																																																																																			
5	172	2.45 m																																																																																																																																																																																																																																																			
6	188	2.29 m																																																																																																																																																																																																																																																			
7	199	2.18 m																																																																																																																																																																																																																																																			
8	211	2.06 m																																																																																																																																																																																																																																																			
9	220	1.97 m																																																																																																																																																																																																																																																			
10	225	1.92 m																																																																																																																																																																																																																																																			
11	230	1.87 m																																																																																																																																																																																																																																																			
12	235	1.82 m																																																																																																																																																																																																																																																			
13	239	1.78 m																																																																																																																																																																																																																																																			
14	243	1.74 m																																																																																																																																																																																																																																																			
15	245	1.72 m																																																																																																																																																																																																																																																			
16	249	1.68 m																																																																																																																																																																																																																																																			
17	252	1.65 m																																																																																																																																																																																																																																																			
18	255	1.62 m																																																																																																																																																																																																																																																			
19	258	1.59 m																																																																																																																																																																																																																																																			
20	260	1.57 m																																																																																																																																																																																																																																																			
21	261	1.56 m																																																																																																																																																																																																																																																			
22	263	1.54 m																																																																																																																																																																																																																																																			
23	264	1.53 m																																																																																																																																																																																																																																																			
24	266	1.51 m																																																																																																																																																																																																																																																			
25	267	1.50 m																																																																																																																																																																																																																																																			
26	268	1.49 m																																																																																																																																																																																																																																																			
27	270	1.47 m																																																																																																																																																																																																																																																			
28	271	1.46 m																																																																																																																																																																																																																																																			
29	272	1.45 m																																																																																																																																																																																																																																																			
		Geosítio																																																																																																																																																																																																																																																			

ENSAIO DE PERMEABILIDADE LEFRANC FOLHA DE APRESENTAÇÃO DE RESULTADOS																																																																																																																																																																																																																																																					
OBRA Nº 23002	DESIGNAÇÃO Escola Secundaria Filipe Jacinto Nyusi	Data: 04/08/2023																																																																																																																																																																																																																																																			
Sondagem Nº: S3	Ensaio nº 3																																																																																																																																																																																																																																																				
<p>Ensaio a nível variável ou constante</p>	Ensaio a nível constante	Ensaio a nível variável X																																																																																																																																																																																																																																																			
	Diâmetro da lanterna B: 0.104 m	Comprimento da lanterna: L 0.50 m																																																																																																																																																																																																																																																			
	Alt. do tubo acima do terreno: HT 0.50 m	Nível piezométrico: HP 1.07 m																																																																																																																																																																																																																																																			
	Distância do NF a meio da lanterna: Hw 2.18 m	Nível freático acima do terreno (s/n) n																																																																																																																																																																																																																																																			
	Profundidade média da cavidade: Hc 2.75 m	Distância à base do aquífero: H																																																																																																																																																																																																																																																			
	$c=L/B$ 4.80769	Duração do ensaio a nível constante																																																																																																																																																																																																																																																			
	$m0=$ 13.2839	(não contanto o abaixamento posterior)																																																																																																																																																																																																																																																			
	Cavidade afastada dos limites do aquífero (s/n)	s																																																																																																																																																																																																																																																			
	$m=$ 13.2839																																																																																																																																																																																																																																																				
	Abaixamento depois do ensaio a nível constante	Análise do ensaio a nível constante																																																																																																																																																																																																																																																			
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>t (min)</th> <th>Leitura do contador (m³)</th> <th>Q (l)</th> <th>Abaixamento (cm)</th> <th>He (m)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td></td><td></td><td>1.2</td><td>1.06 m</td></tr> <tr><td>1</td><td></td><td></td><td>1.8</td><td>1.05 m</td></tr> <tr><td>2</td><td></td><td></td><td>2.7</td><td>1.04 m</td></tr> <tr><td>3</td><td></td><td></td><td>3.9</td><td>1.03 m</td></tr> <tr><td>4</td><td></td><td></td><td>5</td><td>1.02 m</td></tr> <tr><td>5</td><td></td><td></td><td>6.2</td><td>1.01 m</td></tr> <tr><td>6</td><td></td><td></td><td>7.7</td><td>0.99 m</td></tr> <tr><td>7</td><td></td><td></td><td>9</td><td>0.98 m</td></tr> <tr><td>8</td><td></td><td></td><td>10</td><td>0.97 m</td></tr> <tr><td>9</td><td></td><td></td><td>11.1</td><td>0.96 m</td></tr> <tr><td>10</td><td></td><td></td><td>12.3</td><td>0.95 m</td></tr> <tr><td>11</td><td></td><td></td><td>13.5</td><td>0.94 m</td></tr> <tr><td>12</td><td></td><td></td><td>14.7</td><td>0.92 m</td></tr> <tr><td>13</td><td></td><td></td><td>16</td><td>0.91 m</td></tr> <tr><td>14</td><td></td><td></td><td>16.9</td><td>0.90 m</td></tr> <tr><td>15</td><td></td><td></td><td>17.8</td><td>0.89 m</td></tr> <tr><td>16</td><td></td><td></td><td>18.9</td><td>0.88 m</td></tr> <tr><td>17</td><td></td><td></td><td>19.9</td><td>0.87 m</td></tr> <tr><td>18</td><td></td><td></td><td>21</td><td>0.86 m</td></tr> <tr><td>19</td><td></td><td></td><td>22</td><td>0.85 m</td></tr> <tr><td>20</td><td></td><td></td><td>23.1</td><td>0.84 m</td></tr> <tr><td>25</td><td></td><td></td><td>27.6</td><td>0.79 m</td></tr> <tr><td>30</td><td></td><td></td><td>32.1</td><td>0.75 m</td></tr> <tr><td>35</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>40</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>45</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>50</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>55</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>60</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </tbody> </table>	t (min)	Leitura do contador (m ³)	Q (l)	Abaixamento (cm)	He (m)	0			1.2	1.06 m	1			1.8	1.05 m	2			2.7	1.04 m	3			3.9	1.03 m	4			5	1.02 m	5			6.2	1.01 m	6			7.7	0.99 m	7			9	0.98 m	8			10	0.97 m	9			11.1	0.96 m	10			12.3	0.95 m	11			13.5	0.94 m	12			14.7	0.92 m	13			16	0.91 m	14			16.9	0.90 m	15			17.8	0.89 m	16			18.9	0.88 m	17			19.9	0.87 m	18			21	0.86 m	19			22	0.85 m	20			23.1	0.84 m	25			27.6	0.79 m	30			32.1	0.75 m	35					40					45					50					55					60					<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>t (min)</th> <th>Abaixamento (cm)</th> <th>He (m)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0.5</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>1</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>2</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>3</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>4</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>5</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>6</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>7</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>8</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>9</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>10</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>11</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>12</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>13</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>14</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>15</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>16</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>17</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>18</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>19</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>20</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>21</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>22</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>23</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>24</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>25</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>26</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>27</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>28</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>29</td><td></td><td></td></tr> </tbody> </table>	t (min)	Abaixamento (cm)	He (m)	0.5			1			2			3			4			5			6			7			8			9			10			11			12			13			14			15			16			17			18			19			20			21			22			23			24			25			26			27			28			29			<p>Fase estabilizada: $k_L =$ falta o tempo m/s</p> <p>Fase transitória: $k_L =$ m/s</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-top: 10px;"> <p style="text-align: center;">Comparação da curva representativa da carga hidráulica com os pontos experimentais na fase transitória</p> </div> <p style="text-align: right; margin-top: 10px;">Análise do ensaio a nível variável $k_L =$ 1.2E-06 m/s</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-top: 10px;"> <p style="text-align: center;">Comparação da curva representativa da carga hidráulica com os pontos experimentais na fase transitória</p> </div> <p style="font-size: small; margin-top: 10px;">Nota: He é a carga hidráulica acima do nível freático</p> <p style="font-weight: bold; margin-top: 10px;">Análise feita de acordo com a norma NF P 94-132.</p> <p style="margin-top: 10px;">Observações:</p>
t (min)	Leitura do contador (m ³)	Q (l)	Abaixamento (cm)	He (m)																																																																																																																																																																																																																																																	
0			1.2	1.06 m																																																																																																																																																																																																																																																	
1			1.8	1.05 m																																																																																																																																																																																																																																																	
2			2.7	1.04 m																																																																																																																																																																																																																																																	
3			3.9	1.03 m																																																																																																																																																																																																																																																	
4			5	1.02 m																																																																																																																																																																																																																																																	
5			6.2	1.01 m																																																																																																																																																																																																																																																	
6			7.7	0.99 m																																																																																																																																																																																																																																																	
7			9	0.98 m																																																																																																																																																																																																																																																	
8			10	0.97 m																																																																																																																																																																																																																																																	
9			11.1	0.96 m																																																																																																																																																																																																																																																	
10			12.3	0.95 m																																																																																																																																																																																																																																																	
11			13.5	0.94 m																																																																																																																																																																																																																																																	
12			14.7	0.92 m																																																																																																																																																																																																																																																	
13			16	0.91 m																																																																																																																																																																																																																																																	
14			16.9	0.90 m																																																																																																																																																																																																																																																	
15			17.8	0.89 m																																																																																																																																																																																																																																																	
16			18.9	0.88 m																																																																																																																																																																																																																																																	
17			19.9	0.87 m																																																																																																																																																																																																																																																	
18			21	0.86 m																																																																																																																																																																																																																																																	
19			22	0.85 m																																																																																																																																																																																																																																																	
20			23.1	0.84 m																																																																																																																																																																																																																																																	
25			27.6	0.79 m																																																																																																																																																																																																																																																	
30			32.1	0.75 m																																																																																																																																																																																																																																																	
35																																																																																																																																																																																																																																																					
40																																																																																																																																																																																																																																																					
45																																																																																																																																																																																																																																																					
50																																																																																																																																																																																																																																																					
55																																																																																																																																																																																																																																																					
60																																																																																																																																																																																																																																																					
t (min)	Abaixamento (cm)	He (m)																																																																																																																																																																																																																																																			
0.5																																																																																																																																																																																																																																																					
1																																																																																																																																																																																																																																																					
2																																																																																																																																																																																																																																																					
3																																																																																																																																																																																																																																																					
4																																																																																																																																																																																																																																																					
5																																																																																																																																																																																																																																																					
6																																																																																																																																																																																																																																																					
7																																																																																																																																																																																																																																																					
8																																																																																																																																																																																																																																																					
9																																																																																																																																																																																																																																																					
10																																																																																																																																																																																																																																																					
11																																																																																																																																																																																																																																																					
12																																																																																																																																																																																																																																																					
13																																																																																																																																																																																																																																																					
14																																																																																																																																																																																																																																																					
15																																																																																																																																																																																																																																																					
16																																																																																																																																																																																																																																																					
17																																																																																																																																																																																																																																																					
18																																																																																																																																																																																																																																																					
19																																																																																																																																																																																																																																																					
20																																																																																																																																																																																																																																																					
21																																																																																																																																																																																																																																																					
22																																																																																																																																																																																																																																																					
23																																																																																																																																																																																																																																																					
24																																																																																																																																																																																																																																																					
25																																																																																																																																																																																																																																																					
26																																																																																																																																																																																																																																																					
27																																																																																																																																																																																																																																																					
28																																																																																																																																																																																																																																																					
29																																																																																																																																																																																																																																																					

ENSAIO DE PERMEABILIDADE LEFRANC FOLHA DE APRESENTAÇÃO DE RESULTADOS																																																																																																																																																																																																																																																					
OBRA Nº: 23001	DESIGNAÇÃO: Escola Secundaria Filipe Jacinto Nyusi	Data: 03/08/2023																																																																																																																																																																																																																																																			
Sondagem Nº: S4	Ensaio nº: 4																																																																																																																																																																																																																																																				
	Ensaio a nível constante	Ensaio a nível variável																																																																																																																																																																																																																																																			
	Diâmetro da lanterna B:	0.104 m	Comprimento da lanterna: L																																																																																																																																																																																																																																																		
	Alt. do tubo acima do terreno: HT	1.00 m	Nível piezométrico: HP																																																																																																																																																																																																																																																		
	Distância do NF a meio da lanterna: Hw	2.50 m	Nível freático acima do terreno (s/n)																																																																																																																																																																																																																																																		
	Profundidade média da cavidade: Hc	2.50 m	Distância à base do aquífero: H																																																																																																																																																																																																																																																		
	c=L/B	9.61538	Duração do ensaio a nível constante																																																																																																																																																																																																																																																		
	m0=	20.416	(não contanto o abalçamento posterior)																																																																																																																																																																																																																																																		
	Cavidade afastada dos limites do aquífero (s/n)		s																																																																																																																																																																																																																																																		
	m=	20.416																																																																																																																																																																																																																																																			
	Ensaio a nível variável ou constante																																																																																																																																																																																																																																																				
Abaixamento depois do ensaio a nível constante		Análise do ensaio a nível constante																																																																																																																																																																																																																																																			
<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>t (min)</th> <th>Leitura do contador (m3)</th> <th>Q (l)</th> <th>Rebaixamento (cm)</th> <th>He (m)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td></td><td></td><td>1.2</td><td>0.99 m</td></tr> <tr><td>1</td><td></td><td></td><td>1.5</td><td>0.99 m</td></tr> <tr><td>2</td><td></td><td></td><td>2.6</td><td>0.97 m</td></tr> <tr><td>3</td><td></td><td></td><td>3.8</td><td>0.96 m</td></tr> <tr><td>4</td><td></td><td></td><td>4.2</td><td>0.96 m</td></tr> <tr><td>5</td><td></td><td></td><td>5.4</td><td>0.95 m</td></tr> <tr><td>6</td><td></td><td></td><td>7</td><td>0.93 m</td></tr> <tr><td>7</td><td></td><td></td><td>7.8</td><td>0.92 m</td></tr> <tr><td>8</td><td></td><td></td><td>8.7</td><td>0.91 m</td></tr> <tr><td>9</td><td></td><td></td><td>9.5</td><td>0.91 m</td></tr> <tr><td>10</td><td></td><td></td><td>10.4</td><td>0.90 m</td></tr> <tr><td>11</td><td></td><td></td><td>10.9</td><td>0.89 m</td></tr> <tr><td>12</td><td></td><td></td><td>11.5</td><td>0.89 m</td></tr> <tr><td>13</td><td></td><td></td><td>12.3</td><td>0.88 m</td></tr> <tr><td>14</td><td></td><td></td><td>13.1</td><td>0.87 m</td></tr> <tr><td>15</td><td></td><td></td><td>14</td><td>0.86 m</td></tr> <tr><td>16</td><td></td><td></td><td>14.7</td><td>0.85 m</td></tr> <tr><td>17</td><td></td><td></td><td>15.3</td><td>0.85 m</td></tr> <tr><td>18</td><td></td><td></td><td>16.1</td><td>0.84 m</td></tr> <tr><td>19</td><td></td><td></td><td>16.8</td><td>0.83 m</td></tr> <tr><td>20</td><td></td><td></td><td>17.9</td><td>0.82 m</td></tr> <tr><td>25</td><td></td><td></td><td>21.2</td><td>0.79 m</td></tr> <tr><td>30</td><td></td><td></td><td>24.9</td><td>0.75 m</td></tr> <tr><td>35</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>40</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>45</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>50</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>55</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>60</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </tbody> </table>	t (min)	Leitura do contador (m3)	Q (l)	Rebaixamento (cm)	He (m)	0			1.2	0.99 m	1			1.5	0.99 m	2			2.6	0.97 m	3			3.8	0.96 m	4			4.2	0.96 m	5			5.4	0.95 m	6			7	0.93 m	7			7.8	0.92 m	8			8.7	0.91 m	9			9.5	0.91 m	10			10.4	0.90 m	11			10.9	0.89 m	12			11.5	0.89 m	13			12.3	0.88 m	14			13.1	0.87 m	15			14	0.86 m	16			14.7	0.85 m	17			15.3	0.85 m	18			16.1	0.84 m	19			16.8	0.83 m	20			17.9	0.82 m	25			21.2	0.79 m	30			24.9	0.75 m	35					40					45					50					55					60					<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>t (min)</th> <th>Rebaixamento (cm)</th> <th>He (m)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0.5</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>1</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>2</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>3</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>4</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>5</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>6</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>7</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>8</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>9</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>10</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>11</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>12</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>13</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>14</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>15</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>16</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>17</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>18</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>19</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>20</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>21</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>22</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>23</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>24</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>25</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>26</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>27</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>28</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>29</td><td></td><td></td></tr> </tbody> </table>	t (min)	Rebaixamento (cm)	He (m)	0.5			1			2			3			4			5			6			7			8			9			10			11			12			13			14			15			16			17			18			19			20			21			22			23			24			25			26			27			28			29			<p>Fase estabilizada: $k_L =$ falta o tempo m/s</p> <p>Fase transitória: $k_L =$ m/s</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p style="text-align: center;">Comparação da curva representativa da carga hidráulica com os pontos experimentais na fase transitória</p> </div> <p style="text-align: center;">Análise do ensaio a nível variável $k_L =$ 6.2E-06 m/s</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p style="text-align: center;">Comparação da curva representativa da carga hidráulica com os pontos experimentais na fase transitória</p> </div> <p>Nota: He é a carga hidráulica acima do nível freático</p> <p>Análise feita de acordo com a norma NF P 94-132.</p> <p>Observações:</p> <p style="text-align: right;">Geosítio / / /</p>
t (min)	Leitura do contador (m3)	Q (l)	Rebaixamento (cm)	He (m)																																																																																																																																																																																																																																																	
0			1.2	0.99 m																																																																																																																																																																																																																																																	
1			1.5	0.99 m																																																																																																																																																																																																																																																	
2			2.6	0.97 m																																																																																																																																																																																																																																																	
3			3.8	0.96 m																																																																																																																																																																																																																																																	
4			4.2	0.96 m																																																																																																																																																																																																																																																	
5			5.4	0.95 m																																																																																																																																																																																																																																																	
6			7	0.93 m																																																																																																																																																																																																																																																	
7			7.8	0.92 m																																																																																																																																																																																																																																																	
8			8.7	0.91 m																																																																																																																																																																																																																																																	
9			9.5	0.91 m																																																																																																																																																																																																																																																	
10			10.4	0.90 m																																																																																																																																																																																																																																																	
11			10.9	0.89 m																																																																																																																																																																																																																																																	
12			11.5	0.89 m																																																																																																																																																																																																																																																	
13			12.3	0.88 m																																																																																																																																																																																																																																																	
14			13.1	0.87 m																																																																																																																																																																																																																																																	
15			14	0.86 m																																																																																																																																																																																																																																																	
16			14.7	0.85 m																																																																																																																																																																																																																																																	
17			15.3	0.85 m																																																																																																																																																																																																																																																	
18			16.1	0.84 m																																																																																																																																																																																																																																																	
19			16.8	0.83 m																																																																																																																																																																																																																																																	
20			17.9	0.82 m																																																																																																																																																																																																																																																	
25			21.2	0.79 m																																																																																																																																																																																																																																																	
30			24.9	0.75 m																																																																																																																																																																																																																																																	
35																																																																																																																																																																																																																																																					
40																																																																																																																																																																																																																																																					
45																																																																																																																																																																																																																																																					
50																																																																																																																																																																																																																																																					
55																																																																																																																																																																																																																																																					
60																																																																																																																																																																																																																																																					
t (min)	Rebaixamento (cm)	He (m)																																																																																																																																																																																																																																																			
0.5																																																																																																																																																																																																																																																					
1																																																																																																																																																																																																																																																					
2																																																																																																																																																																																																																																																					
3																																																																																																																																																																																																																																																					
4																																																																																																																																																																																																																																																					
5																																																																																																																																																																																																																																																					
6																																																																																																																																																																																																																																																					
7																																																																																																																																																																																																																																																					
8																																																																																																																																																																																																																																																					
9																																																																																																																																																																																																																																																					
10																																																																																																																																																																																																																																																					
11																																																																																																																																																																																																																																																					
12																																																																																																																																																																																																																																																					
13																																																																																																																																																																																																																																																					
14																																																																																																																																																																																																																																																					
15																																																																																																																																																																																																																																																					
16																																																																																																																																																																																																																																																					
17																																																																																																																																																																																																																																																					
18																																																																																																																																																																																																																																																					
19																																																																																																																																																																																																																																																					
20																																																																																																																																																																																																																																																					
21																																																																																																																																																																																																																																																					
22																																																																																																																																																																																																																																																					
23																																																																																																																																																																																																																																																					
24																																																																																																																																																																																																																																																					
25																																																																																																																																																																																																																																																					
26																																																																																																																																																																																																																																																					
27																																																																																																																																																																																																																																																					
28																																																																																																																																																																																																																																																					
29																																																																																																																																																																																																																																																					

