



INSTITUTO SUPERIOR POLITÉCNICO DE GAZA
DIVISÃO DE AGRICULTURA
ENGENHARIA HIDRÁULICA, AGRÍCOLA E ÁGUA RURAL

Monografia científica

**ESTUDO DE PROCESSOS DE SEDIMENTAÇÃO E VARIAÇÃO DO FLUXO
HÍDRICO NO SECTOR RIO DO REGADIO DE CHÓKWÈ**

Monografia apresentada e defendida como requisito para obtenção de grau de licenciatura em
Engenharia Hidráulica, Agrícola e Água Rural

Autor: Élcio Samuel Jordão Matimula

Tutor: Lateiro Salvador de Sousa, PhD

Lionde, Março de 2022



INSTITUTO SUPERIOR POLITÉCNICO DE GAZA

PÁGINA DE ROSTO

Monografia de investigação sobre “*Estudo de Processos de Sedimentação e Variação de Fluxo Hídrico no Sector Rio do Regadio de Chókwè*”, apresentado ao Curso de Engenharia Hidráulica Agrícola e Água Rural na Divisão de Agricultura do Instituto Superior Politécnico de Gaza, como requisito para obtenção do grau de Licenciatura em Engenharia Hidráulica Agrícola e Água Rural.

Tutor: Lateiro Salvador de Sousa, PhD

Lateiro Salvador de Sousa

Avaliador 1: Fernando Brazão Tembe, MSc

Fernando Brazão Tembe

Avaliador 2: Agostinho Hlavanguane, MSc

Agostinho Hlavanguane

Lionde, Março de 2022

Índice

ÍNDICE DE TABELAS	i
ÍNDICE DE FIGURAS	ii
LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS.....	iii
DECLARAÇÃO	iv
DEDICATÓRIA	v
AGRADECIMENTOS	vi
RESUMO.....	viii
ABSTRACT.....	ix
I. INTRODUÇÃO	1
1.1. Objetivos	2
1.1.1. Geral	2
1.1.2. Específicos.....	2
1.2. Problema e Justificativa.....	2
II. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
2.1. Batimetria	4
2.2. Sedimentação.....	4
2.3. Transporte e deposição de sedimentos	4
2.4. Fatores que influenciam o processo de sedimentos.....	6
2.5. Coleta de sedimentos.....	7
2.5.1. Métodos de medição de sedimentos	7
2.6. Granulometria e modelos de análise	10
2.7. Variação de fluxo hídrico	11
2.7.1. Métodos de medição do fluxo hídrico	12
2.8. Fatores que influenciam a variação fluxo hídrico	13
III. METODOLOGIA	14
3.1. Descrição da área de estudo.....	14
3.1.1. Localização da área de estudo.....	14
3.1.2. Clima	15
3.1.3. Solos e Relevo.....	15
3.1.4. Hidrologia	15
3.1.5. Geologia.....	15
3.2. Metodologia e procedimentos de campo	16

3.2.1.	Colheita de dados	16
3.3.	Caracterização da batimetria do canal principal	18
3.4.	Análise das características dos parâmetros físico e químicos de sedimentos	18
3.4.1.	Sedimentos suspensos.....	18
3.4.2.	Sedimentos de fundo	19
3.5.	Caracterização da variação do fluxo hídrico.....	20
3.6.	Análise e interpretação dos dados	21
IV.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	22
4.1.	Batimetria do canal principal	22
4.2.	Características dos parâmetros físico e químicos de sedimentos	23
4.2.1.	Sedimentos Suspensos	23
4.2.2.	Sedimentos Fundos.....	29
4.3.	Variação do fluxo hídrico.....	32
V.	CONCLUSÃO	35
VI.	RECOMENDAÇÕES	36
VII.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	37
VIII.	ANEXOS	40

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1. Granulometria e modelos de análise.....	10
Tabela 2. Escala de Wentworth-Udden mostrando a classificação de grãos e o tipo de rocha de acordo com os seus tamanhos.....	11
Tabela 3. Quantidade de amostras de sedimentos	19
Tabela 4. Resultados de pH em Marrambadjane.....	23
Tabela 5. Resultados de pH em Muianga	24
Tabela 6. Resultados de CE em Marrambadjane.....	24
Tabela 7. Resultados de CE em Muianga	24
Tabela 8. Resultados de Turbidez em Marrambadjane.....	25
Tabela 9. Resultados de Turbidez em Muianga	26
Tabela 10. Resultados de TDS em Marrambadjane	26
Tabela 11. Resultados de TDS em Muianga.....	26
Tabela 12. Resultados de Dureza total em Marrambadjane.....	27
Tabela 13. Resultados de Dureza total em Muianga	27
Tabela 14. Resultados de Cálcio em Marrambadjane.....	28
Tabela 15. Resultados de Cálcio em Muianga	28
Tabela 16. Resultados de Magnésio em Marrambadjane.....	29
Tabela 17. Resultados de Magnésio em Muianga	29
Tabela 18. Resultados do cálculo do PST e RAS.....	29
Tabela 19. Resultados do cálculo de CU, CC	30
Tabela 20. Resultados dos limites de Atterberg	30
Tabela 21. Resultados das variáveis hidráulicas (1).....	33
Tabela 22. Resultados das variáveis hidráulicas (2).....	33

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Formas de transporte de sedimentos por arraste, saltos e deslizamento	5
Figura 2. Métodos de medição da carga sólida	7
Figura 4. Mapa do Sector Rio do Regadio de Chókwè	15
Figura 5. Amostrador Water Trap Sampler	17
Figura 6. Amostrador Van Veen Grabs	17
Figura 7. Molinete Hidrométrico OTT C31, Acessório OTT Z400	18
Figura 8. Batimetria do canal principal no sector Rio no ano de 2001.....	22
Figura 9. Batimetria do canal principal no sector Rio no ano de 2016.....	23
Figura 10. Curva granulométrica Marrambadjane	31
Figura 11. Curva granulométrica Muianga.....	32

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ANE- Administração Nacional de Estradas

ANOVA- Análise de Variância

CC- Coeficiente de Curvatura

CE- Condutividade Elétrica

CU- Coeficiente de Uniformidade

HICEP- Hidráulica de Chókwè, Empresa Pública

ISPG- Instituto Superior Politécnico de Gaza

LPHAA- Laboratório Provincial de Higiene Água e Alimentos;

PA- Posto Administrativo;

pH - Potencial Hidrogénico

PST- Percentagem de Sódio Trocável

RAS- Razão de Adsorção de Sódio

SRC - Sistema de Regadio de Chókwè;

TDS- Sólidos Totais Dissolvidos

UEM-FAEF - Universidade Eduardo Mondlane - Faculdade de Agronomia e Engenharia Florestal



INSTITUTO SUPERIOR POLICTENICO DE GAZA

DECLARAÇÃO

Declaro por minha honra que este Trabalho de Culminação do Curso é resultado da minha investigação pessoal e das orientações do meu tutor, o seu conteúdo é original e todas as fontes consultadas estão devidamente mencionadas no texto, nas notas e na bibliografia final. Declaro ainda que este trabalho não foi apresentado em nenhuma outra instituição para propósito semelhante ou obtenção de qualquer grau académico.

Lionde, Março de 2022

(Élcio Samuel Jordão Matimula)

DEDICATÓRIA

Dedico esse trabalho em primeiro lugar a minha pessoa, pelo esforço, determinação e empenho durante a realização do curso.

Dedico de forma especial aos meus pais Jordão Jordão Matimula & Benargia Adriano Mavie por me terem trazido ao mundo, no longínquo ano que nasci, pois eles (meus pais) com muito carinho, amor, paciência, sacrifício, dor, desentendimento, apesar de tudo isso mostraram-me que o melhor caminho para a formação do homem aqui na face da terra é a educação, pois é dessa forma que o Homem obtém tamanho conhecimento para poder trilhar no mundo.

À minha querida e adorável irmã Benícia Benargia Jordão Matimula por tudo quanto tem feito em minha vida *‘Love you’*.

Ao meu eterno Chara Samuel Jordão Matimula *‘in memory’*, pelo encorajamento contínuo, os puxões de orelha e as diversas chamadas mensais que eram feitas com intuito de procurar saber como estou a trilhar nesse rumo da vida que tomei, e também era do seu desejo ver-me a concretizar mais uma etapa da minha formação como homem.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar a Deus, pelo dom da vida, pela saúde por guiar, proteger e iluminar-me em todos os caminhos da minha vida.

Aos meus pais Jordão Jordão Matimula & Benargia Adriano Mavie, minha irmã Benícia Benargia Jordão Matimula pelo apoio incondicional, amor, carinho, dedicação, amizade, ensinamentos, e paciência por tudo que fizeram para que me tornasse homem.

Ao meu supervisor, Eng^o. Lateiro Salvador de Sousa, pelo apoio moral, científico, pelo esforço, zelo, dedicação e atenção incondicional que me concedeu durante a elaboração e realização do trabalho, sem os quais o presente trabalho não teria o conteúdo e qualidade que tem, bem como nas disciplinas lecionadas na sala de aulas.

A todos os docentes do Curso de Engenharia Hidráulica, Agrícola e Água Rural, Eng^s Cesário Cambaza, Phillipa Ncube, Paulo Saveca, Enoque Moiane, Salimo Henriques, Luís Maloa, Fernando Tembe, Moisés Budio, Mário Tauzene, Orlando Couve, Gramão Nhantsave, Ézar Nharreluga, e de áreas afins os docentes António Sefane, Custódio Tacarindua, Arão Feniase, Miguel Chele, Domício Guambe, Pedro Zualo, António Rosse, Tomé Chicombo, Sulemene Ruganate, Agapito Jeremias “in memory” Agostinho Lhavanguane, Feleciano Manuel, Eleutério Mapsanguanhe, Sebastião Mahunguane.

Aos meus tios paternos Samuel Matimula “in memory”, Neli Matimula “in memory”, Sebastião Matimula, Cátia Matimula, António Vitorino, Rodrigues Novela, Diolinda Mário “in memory”, Lúcia Mafuiane, Marcela Branca, Artimiza Rodrigues, Alexandre Matimula, Quitéria Matimula, Fernando Matimula, Luísa Matimula, Cacilda Matimula, António Matimula, Avó Andrieta. Aos meus tios maternos Joel Nhapulo, Boavida Nhapulo “in memory”, Engrácia Nhapulo, Eulalia Nhapulo, Ricardina Macoo, Pedro Mavie, Arlindo Mavie Dércio Mavie, Arlindo Mavie, Preciosa Mavie, Etelvina Mavie. Aos meus avos maternos avó Edi Nhapulo “in memory” & Adriano Ducuane Mavie “in memory”.

Aos meus primos Jordão Júnior, Palmira Intipa, Geraldo & Assucena Nhapulo, Sérgio & Dulce Chelene, Amâncio & Maria Amâncio, Milton & Eulalia Victorino, Sérgio & Catarina Chitoquisso, Castíssima Beatriz, Filosia Saene, Beatriz Eugenia, Sales Matimula, Denilson Matimula, Celso

Matimula, Elton Matimula, Délcio Matimula, Edson Matimula, Nita Jacinta, Mária Biatríz Valdimiro Neves, Rafael Matimula, Jorge Joaquim, Aida Jorge, Dulcídio Matimula, Ana Dercia, Plínio da Graça, Conceição Matimula, Eutíca da Dorca, Cidália Neves, Iolanda Matimula, Shelton Victorino, Alen Victorino, António Victorino Júnior, Biatríz Rodrigues, Tércio Rodrigues, Sharon Matimula, Dádiva Matimula, Milton Matimula, Anísia Matimula, Mauro Belito, Teresa Matimula, Enia Nhapulo ‘in memory’, Erchiana Nhapulo, Cristina Nhapulo, Joana Nhapulo, Rita Nhapulo, Joelma Nhapulo, Engrácia Nguel, Santos Nguel, Edio Nguel, Ana Nguel, Atanásio Mavie.

Aos meus padrinhos Castro José Elias & Marta Suzana, seus filhos, Simões Elias, Ivanda Paulino, Virgolino Marta, Winnie Castro, Luana António, Castro Elias Júnior, António José, Sheila Marta, mãe Marta Paulino.

Aos meus companheiros de carteira das salas do Instituto, geração 2017, Carla Raul, Telma Vilanculos, Nélia Bila, Nélia Daluvia, Vânia dos Santos, Iocilde Cuco Carminda Manhique, Cristina Jossias, Teresa Langa, Mirza Xavier, Ancha Invita, Neima Parruque, Ludy Reginaldo Idelson Cumbane, Romário Marrengula, Plácido Fedelino Victor Notiço, Abdul Samalige, Edson Martins, Euler João, Danildo Vasco, Paulo Chissico, Filipe Nhampossa, Felomeno Saboia, Agostinho Zita, Egídio Jacinto, Demilton Francisco, Romão Cuna, Melquisio Malo, Alberto Marcos, Hélder Feliciano, Herminio Ofumane, Daniel Saide, Luís Nelson, Nelson Zefanias, Míngues Miguel, Sebastião Jonas, Heldemiro Chauque, Elton Bonzela, Yealda Cajamba, endereço o meu “*Khanimambo*” (Obrigado) pelo suporte, apoio material, moral que deram ao longo desses anos.

A minha equipe de Campo, vai um agradecimento e um abraço especial para vocês, Nélia Bila, Nélia Daluvia, Vânia dos Santos, Herminio Ofumane, Heldemiro Chauque. Aos residentes do lar dos estudantes, Anifa João, Nádia Chambal, Mirza Dava, Wilma Serafina, Reinaldo Faustino, Elon Donizete, Pereira Andicene, Rafael Nanelo, Eugénio Pascal, Diamantino, Joaquina Amizade, Cremildo Goga.

Aos que compõem a equipe de trabalho do ISPG, concretamente Gisela Condula, Mambunda, Alex, Carmona etc outros, obrigado pelo apoio motivacional prestado no decorrer da formação.

Por fim, a todos vós que de forma directa e indirecta contribuíram para a realização do presente trabalho, um abraço a todos vós.

RESUMO

O Sistema de Regadio de Chókwe tem experimentado sérios problemas de sedimentação, desde a sua construção. O problema se agrava à medida que o tempo passa, e muito recentemente, foi reportado que uma grande porção está assoreada, devido ao acúmulo de sedimentos. Este trabalho tem como objectivo principal, estudar os processos de sedimentação e variação do fluxo hídrico decorrentes no SRC, no seu Sector Rio. Para efeito foi caracterizada a batimetria do canal, através de dados fornecidos pela HICEP referentes ao período de reabilitação do canal principal do SRC, e no ano de estiagem que assolou o SRC, em 2001 e 2016 respectivamente, onde foram gerados resultados gráficos ilustrando os níveis das banquetas ocidental e oriental do canal, assim como o fundo do canal. Para a caracterização física e química dos sedimentos, foram colhidas amostras de sedimentos suspensos e de fundo do canal. Os sedimentos suspensos foram coletados com recurso ao amostrador ou draga *water trap* e os de fundo, usando a draga de *Van Veen*, ambos equipamentos da *Eijkelpamp*. As amostras de fundo foram analisadas em dois laboratórios: laboratório UEM-FAEF em Maputo para análise de parâmetros químicos dos sedimentos (pH, condutividade eléctrica, sódio (Na⁺), potássio (K⁺), cálcio (Ca²⁺), magnésio (Mg²⁺); e no laboratório da ANE em Xai-Xai, para análise de parâmetros físicos dos sedimentos (Granulometria e Limites e Atterberg). Com os dados retirados da análise química determinou-se a RAS e a PST, na análise física usando a curva granulométrica, determinou-se os CU e CC. Na variação de fluxo hídrico, foram determinados parâmetros geométricos do canal (secções transversais, largura) e hidráulicos do canal (área, caudais, altura da água, velocidade de escoamento, coeficiente de Reynold, número de Froude, raio hidráulico). A análise dos sedimentos suspensos foi no LPHAA em Xai-Xai, onde analisou-se o pH, CE, TDS, Mg²⁺, Ca²⁺, turbidez e dureza. Os resultados obtidos, para a batimetria, que o sector Rio mostra um acúmulo de sedimentos por ser a zona jusante do SRC. Os sedimentos suspensos analisados os seus parâmetros físico-químico em laboratórios, foram processados no software XLStat versão free 3.1, onde foi realizado o teste ANOVA e Tukey ao nível de significância de 5%, mostrando que para os parâmetros como CE, Turbidez e TDS foram significativos. As características hidráulicas e geométricas obtidas nos pontos de colecta, apresentaram variações entre o período de amostragem. A vazão do canal em ambos pontos obteve variações ao passo que a velocidade de escoamento observou valores médios, não variando. A caracterização da granulometria dos sedimentos de fundo, foi essencial para a determinação da curva granulométrica que indicaram o material do fundo do canal é composto por areia média fina e média, isso em Marrambadjane e Muianga respectivamente. Os dados obtidos encontram-se dentro do padrão normal, como é citada por autores.

Palavras-chave: *Batimetria, Sedimentos, Sistema de Regadio de Chókwe, Granulometria, fluxo hídrico*

ABSTRACT

The Chókwè Irrigation System has experienced serious sedimentation problems since its construction. The problem worsens as time goes by, and very recently, it has been reported that a large portion is silted up, due to the accumulation of sediments. The main objective of this work is to study the processes of sedimentation and variation of the water flow arising in the SRC, in its Sector Rio. For this purpose, the bathymetry of the channel was characterized, through data referring to the period of rehabilitation of the main channel of the SRC, and in the year of drought that hit the SRC, in 2001 and 2016 respectively, where graphic results were generated illustrating the levels of the western and eastern stools of the canal, as well as the canal's bottom. For the physical and chemical characterization of the sediments, samples of suspended and channel bottom sediments were collected. Suspended sediments were collected using sampling or water trap dredging, and bottom sediments were collected using the Van Veen dredger, both equipment from Eijkelkamp. Background samples were analyzed in two laboratories: the UEM-FAEF laboratory in Maputo for the analysis of chemical parameters of the sediments (pH, electrical conductivity, sodium (Na^+), potassium (K^+), calcium (Ca^{2+}), magnesium (Mg^{2+}); and in the laboratory of ANE in Xai-Xai, for the analysis of physical parameters of the sediments (Granulometry and Limits and Atterberg). UC and CC were determined. In the variation of water flow, geometric parameters of the channel (cross sections, width) and channel hydraulics (area, flow rates, water height, flow velocity, Reynold's coefficient, Froude number, radius) were determined. The suspended sediments were analyzed at LPHAA in Xai-Xai, where pH, EC, TDS, Mg^{2+} , Ca^{2+} , turbidity and hardness were analyzed. The results obtained, for bathymetry, that the Rio sector shows an accumulation of sediments as it is the downstream zone of the SRC. The suspended sediments analyzed for their physicochemical parameters in laboratories were processed using the XLStat free version 3.1 software, where the ANOVA and Tukey tests were performed at a significance level of 5%, showing that for parameters such as CE, Turbidity and TDS they were significant. The hydraulic and geometric characteristics obtained at the collection points showed variations between the sampling period. The channel flow at both points varied while the flow velocity observed average values, not changing. The characterization of the bottom sediments granulometry was essential for the determination of the granulometric curve that indicated the channel bottom material is composed of fine and medium sand, this in Marrambadjane and Muianga respectively.

Keywords: Bathymetry, Sediments, Chókwè Irrigation System, Granulometry, water flow

I. INTRODUÇÃO

O transporte de sedimentos em bacias hidrográficas está relacionado com a geomorfologia, ecologia fluvial, estabilidade das estruturas de engenharia e condições de navegação dentre outros aspectos importantes para o planejamento e o controle de recursos hídricos. A existência de inúmeras variáveis envolvidas na mecânica de transporte de sedimentos e complexidade nas interações de processos físicos tornam difícil o estabelecimento de metodologias indiretas para a estimativa de transporte de sedimentos em rios (Brune, 2014).

O estudo de transporte de sedimentos é importante para melhor compreensão do quadro atual de erosão hídrica e para a tomada de decisões visando a solução dos problemas que a ela estão relacionadas. Na forma como ocorrem na natureza, a erosão e o transporte de sedimentos apresentam uma enorme complexidade. De acordo com (Veiga *et al.*, 2015) os sedimentos são transportados para corpos de água, prejudicando assim a qualidade das águas, além de servir de veículo a outros poluentes, que se certa forma essas matérias são absorvidas.

Rocha (2016), afirmam que o transporte de sedimentos pela água é regido pela relação entre a capacidade de carregamento do escoamento e a força necessária para deslocar as partículas sólidas disponíveis em seu curso. As partículas mais finas e leves, como argilas e siltes precisam de menos energia que as partículas de areia para serem carreadas. Escoamentos muito velozes e turbulentos possuem uma grande capacidade de carregamento de sedimentos, sendo estes pouco seletivos, ou sejam deslocam sedimentos finos e grossos. À medida que a velocidade do escoamento diminui o transporte de sedimentos torna se, mas seletivo assim os processos de erosão, transporte e deposição de sedimentos são dependentes da granulometria do material presente na bacia hidrográfica ou rio.

Com este trabalho pretende-se estudar processos de sedimentação e variação de fluxo hídrico no setor rio do Regadio de Chókwè. Com vista a trazer benefícios a pratica de agricultura irrigada, vários processos metodológicos foram desenvolvidos para caraterizar processos de sedimentação e descrever fatores que influenciam neste mesmo processo, bem como trazer possíveis resultados esperados do estudo.

1.1.Objetivos

1.1.1. Geral

- ❖ Estudar os processos de sedimentação e variação de fluxo hídrico no Setor Rio do Regadio de Chókwe;

1.1.2. Específicos

- ❖ Caracterizar a batimetria do canal principal;
- ❖ Analisar as características físicas e químico de sedimentos;
- ❖ Caracterizar a variação de fluxo hídrico;

1.2. Problema e Justificativa

Para Peixoto (2019) sedimentos são partículas derivadas de rocha, ou de agentes biológicos, que podem ser transportados por um fluido. Estas partículas provêm da fragmentação das rochas por processos físicos e ou químicos e transportados pela água ou pelo vento do lugar de origem até os rios e locais de deposição, ou seja, é o material sólido em suspensão na água ou depositado no leito. As análises sedimentológicas se mostram como um importante instrumento se entender a dinâmica dos processos no transporte de sedimentos presentes no leito dos rios (Rocha, 2016).

A sedimentação é uma preocupação mundial, pois afeta o projeto dos sistemas de irrigação e seu desempenho operacional. O declive de um canal de irrigação que sai da cabeceira é geralmente menor do que o canal original, para permitir que a água alcance os pontos abaixo do canal onde a irrigação é necessária. Com uma inclinação tão pequena, o canal é incapaz de transportar toda a carga, especialmente quando uma grande carga de sedimentos entra no sistema do canal. Na maioria dos casos, parte da carga será depositada no próprio canal (Sousa *et al.*, 2019).

Com os problemas de assoreamento no canal principal de Sistema de Regadio de Chókwe, foram colocadas em prática programas de reabilitação do mesmo que requeriam custos avultados isso desde a década de 90, depois de 40 anos da sua construção. Esses programas tinham como visão desfazer os problemas hidráulicos que o sistema continha (HICEP, 2003).

A presença de sedimentos nos cursos de água é consequência dos processos erosivos ocorridos nas suas bacias de drenagem, processos estes intensificados pela expansão de atividades agrícolas. A elevada concentração de sedimentos nos rios pode comprometer ou restringir o uso da água.

Projetos de barragens, captações e estações de tratamento de água, são diretamente influenciados pela presença de sedimentos da fonte hídrica, bem como os organismos aquáticos e aqueles que consomem a água em seu estado bruto, diretamente do rio (Rocha, 2016). Ao olho nu, era bem possível ver a elevação do nível de água no canal principal, e não sabendo o que acontecia por debaixo, mesmo com a subida do nível da água, há campos agrícolas que não recebiam a água para poder efectuar a rega.

Por estes motivos acima que implicaram a realizar-se o estudo, de modo a perceber até que ponto ou nível os sedimentos condicionam o sistema do regadio de Chókwè. Este estudo deverá ser capaz de fazer uma previsão dos possíveis locais que iram apresentar maior propensão à sedimentação, e também dotar a unidade gestora sobre o estado em que o próprio sistema encontra-se e trazer possíveis medidas para a resolução do problema.

II. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Batimetria

Os levantamentos batimétricos se apresentam como uma ferramenta através da qual podemos obter informações morfológicas, como perfis batimétricos, modelos digitais de terreno, declividade e orientação do relevo, possuindo aplicações como a identificação de bancos de areia, obras de engenharia, cartas de navegação e estudos ambientais (Abreu Neto *et al.*, 2019).

2.2. Sedimentação

Para Sousa, *et al.* (2019), sedimentação é o processo pelo qual partículas de tamanhos diferentes, são transportadas e depositadas em corpos de água e em outros quaisquer pontos ao longo dos caminhos de fluxo de água. Esse transporte de sedimentos inicia quando as forças de cisalhamento aplicadas pelo fluxo da água superam o peso das partículas e nisso, são desprendidas iniciando o movimento de declive das partículas.

Sedimento pode ser definido como material particulado (pó ou grãos) originado por solos ou rochas, assim, as partículas individuais ou grãos de minerais individualizados são fragmentos de rocha não alterada ou parcialmente alterada, isto é, são materiais que não podem ser desagregados senão por aplicação de elevada energia. (Amui, 2020).

De acordo com (Arroio Júnior, 2013) sedimento é uma partícula derivada da rocha ou de matérias biológicas por processos físicos ou químicos, que são transportados pela água ou vento do local de origem aos rios e locais de deposição. Os processos responsáveis pela sedimentação são complexos, podendo abranger processos como erosão, deslocamento de partículas por enxurradas ou meios até os rios, transporte de sedimento nos cursos de água, deposição de sedimento na calha dos rios, lagos e reservatórios e a sua compactação (Arroio Júnior, 2013).

2.3. Transporte e deposição de sedimentos

O processo de deposição ocorre quando a força de escoamento se reduz até a condição de não poder continuar a deslocar a partícula. O depósito dos sedimentos geralmente acontece em locais relativamente mais baixos, podendo ocorrer em depressões naturais de terreno ou mesmo em encostas de declividade mais suave. Este material pode adentrar a rede de drenagem, sendo

transportado pelos cursos de água até o oceano ou ficar retido em reservatórios, canais, rios e ou lagos (Peixoto, 2019).

Arroio Júnior (2013) considera que os sedimentos que chegam ao curso de água apresentam diversas formas, tamanhos e pesos, sendo submetidos a um processo de transporte diferenciado, de acordo com as condições do local e de escoamento, e esse transporte nos canais pode ocorrer de três formas, como ilustra a figura 1.

- ❖ Carga Solida de Arrasto: partículas de sedimento que rolam ou escorregam longitudinalmente no curso de água. As partículas estão em contato com o leito praticamente todo o tempo;
- ❖ Carga Solida Saltante: partículas que pulam ao longo do curso de água por efeito da correnteza ou devido ao impacto de outras partículas;
- ❖ Carga solida em Suspensão: são as partículas que estão suportadas pelas componentes verticais das velocidades do fluxo turbulento, enquanto estão sendo transportadas pelas componentes horizontais dessas velocidades, sendo pequenas suficientemente para permanecerem em suspensão.

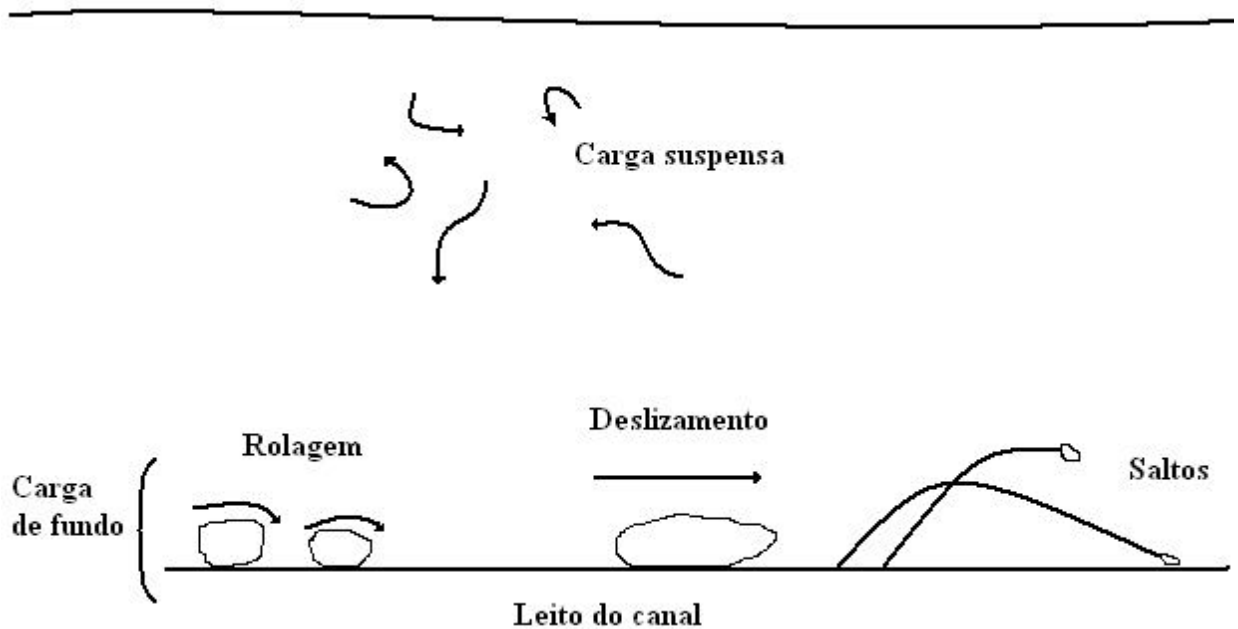


Figura 1. Formas de transporte de sedimentos por arraste, saltos e deslizamento (Cunha Filho et al., 2012).

2.4. Factores que influenciam o processo de sedimentos

Os sedimentos que alcançam o reservatório são originários da área de drenagem contribuinte e são transportados, principalmente, através da rede principal de canais fluviais. A produção de sedimento derivada da área de drenagem, ou correspondente a toda uma bacia hidrográfica, é dependente da erosão, do escoamento das águas de chuva com o carreamento dos sedimentos e das características de transporte de sedimento nos cursos de água (Peixoto, 2019).

Os principais fatores que afetam a produção de sedimentos na área de drenagem são (Peixoto, 2019):

- ❖ Características dos sedimentos (granulométricas, mineralógicas etc.);
- ❖ Cobertura do solo (vegetação, rochas aparentes e outros);
- ❖ Escoamento superficial;
- ❖ Hidráulica dos canais
- ❖ Natureza da rede de drenagem – densidade, declividade, forma, tamanho e conformação dos canais;
- ❖ Precipitação - quantidade, intensidade e frequência;
- ❖ Tipo de solo e formação geológica;
- ❖ Topografia (geomorfologia);
- ❖ Uso do solo (práticas de cultivo, pastagens, exploração de florestas, atividades de construção e medidas de conservação);

O transporte de sedimentos em suspensão atua como portador de poluentes, bactérias e vírus, acarreta também aumento no custo de tratamento da água para consumo, aumento da turbidez na água, redução da penetração de raios de luz na água, impedindo a fotossíntese. O transporte de sedimento do leito pode diminuir as profundidades dos canais, prejudicando a navegação e provocando enchentes, provoca abrasão em máquinas, obras hidráulicas, árvores e outros quando de sua passagem (Garcia, 2017 & Osman, 2015) afirma que o transporte de sedimentos em canais para irrigação é afetado por fatores adicionais, tais como as estruturas, influência das banquetas laterais na distribuição de velocidade, regras de operação e uniformidade dos horários de distribuição da água.

2.5. Coleta de sedimentos

O sedimento presente no curso de água é originado da erosão na bacia e da erosão no próprio leito e nas margens. A medição do sedimento é feita na seção transversal de medição da vazão. Escolhe-se um trecho reto do rio, com margens altas e declividades moderadas, leito firme e uniforme, onde os filetes sejam paralelos às margens, devendo a calha conter toda a variação de vazão, sem transbordamentos. Havendo uma uniformidade no escoamento e na distribuição de velocidades na seção transversal, haverá boas condições de amostragem do sedimento (Peixoto, 2019)

Para muitos cursos de água a quantidade da carga sólida durante o período chuvoso representa uma média de 70 a 90% de todo o ano hidrológico. Então o sedimento em suspensão deve ser medido com maior frequência nestes períodos húmidos do que durante os períodos secos. Durante enchentes, para determinados cursos d'água, podem ser necessárias medições da carga em suspensão com frequência horária ou mesmo maior número de amostragens para definir com precisão a concentração de sedimento. No restante do ano as amostragens podem ser feitas diariamente ou mesmo semanalmente (Peixoto, 2019).

2.5.1. Métodos de medição de sedimentos

Os diversos métodos de medição da descarga em suspensão, do leito ou total são classificados em diretos (ou in situ) e indiretos. A Tabela 1 demonstra esses métodos de forma simplificada. Os equipamentos citados nas tabelas foram desenvolvidos para atendimento a diversas condições de trabalho no campo, tanto a variações de concentrações quanto de granulometria do material (Peixoto, 2019).

Figura 2. Métodos de medição da carga sólida (Peixoto, 2019).

Descarga sólida	Medição	Descrição	Equipamentos ou metodologia de medida
Descarga sólida em suspensão	Direta	Usa equipamentos que medem diretamente no curso d'água a concentração ou outra grandeza como a turbidez ou ultra-som	Medidor nuclear (portátil ou fixo), Ultra-sônico ótico, Ultra-sônico Doppler de dispersão, Turbidímetro, ADCP (Doppler)
		Por acumulação do sedimento num medidor (proveta graduada)	Garrafa Delft (medição pontual e concentração alta)
	Indireta	Coleta de sedimento por amostragem da mistura água-sedimento, análise de concentração e granulometria e cálculos posteriores da descarga sólida	Diversos tipos de equipamentos: – de bombeamento, equipamentos que usam garrafas ou sacas, sendo pontuais instantâneos, pontuais por integração e integradores na vertical (no Brasil usa-se principalmente a série norte-americana – U-59, DH-48, DH-59, D-49, P-61 e amostrador de saca)
		Uso de fotos de satélite e comparação com medidas simultâneas de campo para calibragem, em grandes rios	São estabelecidas equações que correlacionam as grandezas de observação das fotos com as concentrações medidas

O cálculo da descarga sólida em suspensão, é medida direta e indireta da descarga em suspensão, e é obtido o valor da concentração. O cálculo é feito pela multiplicação da descarga líquida pela concentração. Normalmente o valor da Q_{ss} é apresentado em t/dia, sendo necessário um fator de transformação de unidades (Peixoto, 2019).

$$Q_{ss} = 86400 * Q * C \quad (2.1)$$

Onde:

Q_{ss} - Montante sedimentado (ton/dia);

Q - Vazão (m^3/s);

C - Concentração de sedimentos (mg/l);

Os dados obtidos na medição da descarga líquida como a temperatura na hora de medição, a granulometria do material do leito, e a declividade do gradiente são dados indispensáveis. Os dados da obtidos durante a medição da descarga líquida, a temperatura na hora da medição, a granulometria do material do leito e a declividade do gradiente de energia são dados indispensáveis.

A declividade da linha energética S , ou gradiente de energia, deve ser obtida no campo através da fórmula:

$$S = \frac{(h_{mont} - h_{just}) + \frac{(v_{mont}^2 + v_{just}^2)}{2g}}{L} \quad (2.2)$$

Onde:

h_{mont} e h_{just} – é a diferença entre os níveis de água da seção montante e a jusante;

S - Gradiente de energia;

L - Distância entre as seções;

g - Constante de aceleração de gravidade;

v_{mont} e v_{just} - Velocidades medias das seções a montante e a jusante;

Na ausência da determinação de S no campo, (Peixoto, 2019) e (Crispim *et al.*, 2015) afirmam que pode se optar na equação de Manning-Strickler, para isso tendo os dados geométricos da seção, o coeficiente de rugosidade de manning pode ser calculado a partir da granulometria dos sedimentos do leito isso através das equações abaixo:

$$I = \left(\frac{Q * n}{A * R^{2/3}} \right)^2 \quad (2.3)$$

$$n = \frac{d_{50}^{1/6}}{21.1} \quad (2.4)$$

$$n = \frac{d_{90}^{1/6}}{26.0} \quad (2.5)$$

Onde:

I - Gradiente de energia;

Q - Vazão em m^3/s ;

A - Área molhada da seção transversal (m^2);

R - Raio hidráulico (m);

v - Velocidade (m/s);

n - Coeficiente de rugosidade de Manning;

d_{50} - Diâmetro da partícula para qual 50% do sedimento do leito são mais finos (m);

d_{90} - Diâmetro da partícula para qual 90% do sedimento do leito são mais finos (m);

2.6. Granulometria e modelos de análise

É feita a análise de concentração da amostra em suspensão, da mistura água-sedimento, quando necessário também analisa se a granulometria de sedimento em suspensão, devendo ser devidamente especificados. A análise para o material do leito limita-se apenas na granulometria, que se trata de medir diretamente da descarga de arrasto com equipamento apoiado no leito devendo ser especificada a determinação do peso seco de todo material e sua granulometria. (Peixoto, 2019).

Para análise dos sedimentos em suspensão, deve se organizar as amostras em ordem cronológica, fazer se a pesagem da mistura água-sedimento, armazenar as amostras em ambiente fresco e com o abrigo da luz até que os sedimentos depositem se até ao fundo do recipiente. Para a concentração dos sedimentos deira-se decantar o excesso de liquido sobrenadante aplicando método de evaporação e filtragem para os sólidos dissolvidos. Apos isso, faz se a secagem em estufa e no dessecador e por fim a pesagem do restante material. Para a granulometria das amostras, é feita a desagregação mecânica com o peneiramento húmido, para componentes como Silte-Argila, as amostras são colocadas quarteamento nativo onde é feito a pesagem do sedimento e o seu assentamento de sólidos dissolvidos, apos isso, é decantado o acumulo de água sobreandante e colocado na estufa para a secagem e dessecador e por fim a pesagem do material restante (Peixoto, 2019).

Tabela 1. Granulometria e modelos de análise

Sedimentos em suspensão	Análise de concentração total	Filtração; Evaporação Tudo de retirada pelo fundo
	Análise granulométrica	Tubo de retirada pelo fundo Pipetagem ; Densímetro

Sedimentos do leito	Análise granulométrica	Peneiramento; Densímetro; Pipetagem; Tudo de acumulação visual; Tubo de retirada pelo fundo
---------------------	------------------------	---

Para verificar a granulometria dos sedimentos é necessário o uso de uma escala, entretanto, não existe uma escala universalmente aceita e não há um consenso mundial entre os profissionais da área. No entanto Wentworth-Udden geram uma tabela de classificação, mas é importante salientar que, os limites postos para as várias classes granulométricas são de certa forma arbitrárias (Amui, 2020).

Milímetros (mm)	Micrometros (μm)	Phi (φ)	Classes de tamanhos de Wentworth	Tipo de rocha
4096	-	-12,0	Matacão	Conglomerado/ brecha
256	-	-8,0	Bloco	
64	-	-6,0	Seixo	
4	-	-2,0	Grânulo	
2,00	-	-1,0	Areia muito grossa	Arenito
1,00	-	0,0	Areia grossa	
0,50	500	1,0	Areia média	
0,25	250	2,0	Areia muito fina	
0,125	125	3,0	Silte grosso	Siltito
0,0852	83	4,0	Silte médio	
0,031	31	5,0	Silte fino	
0,0156	15,6	6,0	Silte muito fino	
0,0078	7,8	7,0		
0,0039	3,9	8,0	argila	
0,00006	0,06	14,0		Argilito

Tabela 2. Escala de Wentworth-Udden mostrando a classificação de grãos e o tipo de rocha de acordo com os seus tamanhos. (Amui, 2020).

2.7. Variação de fluxo hídrico

A vazão de um fluxo de água, está associada a uma determinada seção transversal específica, isso porque, o para exemplo do rio, ele continua recebendo contribuição da sua bacia hidrográfica ao longo do seu percurso. A medição da vazão compreende a obtenção de grandezas geométricas da seção, tais como, área, perímetro molhado, largura etc, e grandezas referentes ao escoamento da água, como a velocidade e a vazão. De ressaltar que, em uma determinada seção transversal do

rio, a velocidade do escoamento varia ao longo da coluna de água e ao longo da largura do rio (Gonçalves, 2016).

2.7.1. Métodos de medição do fluxo hídrico

Segundo Gonçalves (2016), os métodos mais para a medição do fluxo hídrico são:

❖ Medição com molinete hidrométrico

Consiste em determinar a área da seção transversal do rio e medir a velocidade do escoamento em diversos pontos da seção com o molinete, obtendo-se a velocidade média em cada vertical da seção, calculando assim a vazão. De referenciar que o molinete é um instrumento de formato alongado dotado de uma hélice, sendo a velocidade determinado em função do número de ciclos por segundo que a hélice realiza quando submetida ao fluxo.

❖ Medição com flutuadores

Este método consiste em determinar a velocidade de deslocamento de um objeto flutuante, medindo o tempo necessário para que ele percorra um trecho do rio de um comprimento conhecido. E é geralmente empregado quando não se dispõe de outros tipos de equipamentos ou quando da ocorrência de vazões muito altas, que colocam e risco a medição por parte de técnicos ou danificam os instrumentos.

❖ Uso de dispositivos reguladores

Dispositivos como vertedores triangulares ou calhas Parshall, têm a relação entre o nível da água e a vazão que os atravessa bem conhecidas, regidas por equações da hidráulica, as quais foram determinadas teoricamente ou com experimentos em laboratório. Em alguns casos em vazões muito pequenas, pode-se optar por instalar algum desses dispositivos na seção transversal, e a partir da observação do nível de água, calcular a vazão pela equação hidráulica correspondente.

❖ Medição de nível de água

É feita a menção com o auxílio de réguas linimétricas ou linígrafos. As réguas tanto de hastes de madeira ou metal graduadas, são instaladas ao longo da secção transversal, fixadas no solo e a leitura é feita diretamente por um observador, que comparece ao local periodicamente, fazendo uma a duas leituras diárias, num intervalo de 10h. Os linígrafos, estes são instrumentos que

registram continuamente a variação do nível de água, havendo os de boia e os de pressão. Os de boia, registram o nível de água a partir da transmissão do movimento de flutuador preso a um cabo, enquanto o segundo tipo determina o nível da água em função da pressão detetada por um sensor específico.

2.8. Factores que influenciam a variação fluxo hídrico

Para Rennó & Borma (2017) estes são os fatores que influenciam o fluxo hídrico.

❖ Intensidade da chuva

Geralmente um evento intenso de precipitação, só ocorre em uma parte da bacia hidrográfica.

❖ Área da bacia

O tamanho da bacia hidrográfica exerce influência direta no escoamento superficial, devido a grande volume de água que a bacia drena. E em grandes bacias, terão maior descarga, maior pico e maior tempo de retardo.

❖ Forma da bacia

Está relacionado com a velocidade de deslocamento da água na bacia, considerando uma chuva espacialmente uniforme, a água proveniente de vários pontos da bacia, têm maior chance de atingir o exutório ao mesmo tempo, diminuindo assim o tempo de ascensão neste ponto, por outra, o pico de vazão é atingido mais rapidamente.

❖ Topografia (declividade da bacia)

Aumento da declividade faz com que diminua a infiltração, aumentando assim o escoamento superficial e reduzindo o tempo de resposta da baica. Maior declividade também contribui para o aumento da erosão e da importância da cobertura vegetal como proteção do solo.

❖ Rugosidade do canal

Ela atua como desacelerador da água no canal, aumentando com a presença de pedras, vegetação e detritos. Canais artificias aumentam muito a velocidade da água, fazendo com que a água da chuva deixe a bacia muito rapidamente, diminuindo o fluxo de base, aumentando o escoamento superficial.

Figura 3. Mapa do Sector Rio do Regadio de Chókwe

3.1.2. Clima

O clima do distrito é dominado pelo tipo semiárido (seco de savana), onde a precipitação varia de 500 a 800mm, enquanto a evapotranspiração potencial de referência (ET_o) é da ordem dos 1400 a 1500mm. As temperaturas médias anuais variam entre os 22°C e 26°C e a humidade relativa média anual entre 60-65%. A baixa pluviosidade, aliada às elevadas temperaturas, resulta numa acentuada deficiência de água. A irregularidade das chuvas ocasiona estiagem e secas frequentes, mesmo durante a estação das chuvas (MAE, 2012).

3.1.3. Solos e Relevo

Todo o distrito de Chókwe é uma planície com menos de 100 metros de altitude e composta por aluviões ao longo do rio Limpopo, que atravessa todo o distrito no sentido NW-SE, e por depósitos indiferenciados no resto do distrito (PA's de Macarretane e Lionde). Verifica-se a ocorrência de terraços no extremo Sudeste do distrito (PA de Chilembene), junto ao distrito de Bilene. Em Macarretane, na zona de Matuba, ocorrem argilas vermelhas (MAE, 2012).

3.1.4. Hidrologia

O distrito tem um grande potencial hidrográfico, sendo banhado pela margem direita do Rio Limpopo e pelo Rio Mazimuchope, possuindo ainda os riachos periódicos de Ngonwane, Munhuane, Chuezi, Nhambabwe e as lagoas de Chinangue, Ngondzo, Nha-nhai, Mbalambe e Khokhotiva. O caudal do Limpopo é caracterizado por uma variação de caudal considerável, estando, alguns anos, seco por alguns meses. Estima-se que apenas 10% do caudal medido em Chókwe é gerado na parte moçambicana da área de captação do rio. Os seus caudais são muito baixos durante a estação seca, tendo reduzido bastante no Baixo Limpopo (desde a barragem de Macarretane até à foz do rio, Zongoene), devido à construção de reservatórios e barragens nos países a montante (MAE, 2012).

3.1.5. Geologia

A geologia na maior parte da Bacia de Limpopo em Moçambique é caracterizada por espessos depósitos de sedimentos marinhos do Pleistocénico, denominados “Mananga”, localizados em áreas relativamente elevadas e, por depósitos arenosos de Quaternário (figura 8). Esta região apresenta uma textura franco-arenosa com elevada percentagem de areia grossa. A bacia de

Limpopo é partilhada por quatro países nomeadamente a África do Sul, Botswana, Zimbabwe e Moçambique. Estende-se por uma área de cerca de 412.000 Km² (MAE, 2012).

3.2. Procedimentos de campo

3.2.1. Colheita de amostras

A colecta de água foi realizada nos meses de Julho e Agosto de 2021, num intervalo de colheita de 15 dias. Um total de 32 amostras de sedimentos suspensos na água e 6 amostras de sedimentos de fundo, que foram compactas, formando uma amostra cada para os respectivos pontos nos pontos com denominação Muianga e Marrambadjane, pontecas presentes no sector Rio do SRC.

Os sedimentos suspensos na água foram colectados com o recurso ao amostrador ou draga *water trap* equipamento da *Eijkelkamp* (figura 4), em diferentes alturas de acordo com as profundidades encontradas no canal, numa escala entre os pontos de colheita de 40cm, partindo da altura máxima da água, até a superfície do canal. Essas amostras foram colocadas em recipientes plásticos, com um volume de 500ml, e devidamente etiquetados e isolados com uma fita cola adesiva transparente ilustrando nas etiquetas a profundidade, a data, os parâmetros a analisar e o nome do respectivo ponto. De salientar que antes de coletar-se as amostras de sedimentos suspensos na água, as garrafas passaram por uma lavagem, no numero de três vezes com a própria água, para evitar a contaminação, de modo que haja fiabilidade nos resultados. As amostras foram levadas ao LPHAA Gaza em Xai-Xai para a devida análise.

Com auxilio da draga *Van veen*, equipamento da *Eijkelkamp* (figura 5) foram retirados sedimentos de fundo na superfície do canal, onde foram colocadas em sacos plásticos, devidamente etiquetados e posteriormente analisados nos laboratórios da ANE - Xai-Xai e UEM - FAEF Maputo.

Com o auxilio do molinete hidrométrico da marca *OTT C31*, acoplado ao acessório *OTT Z400*, (figura 6) foram usados para a medição da velocidade na água, nos mesmos pontos ou altura de água, onde fez-se a colecta de sedimentos suspensos.

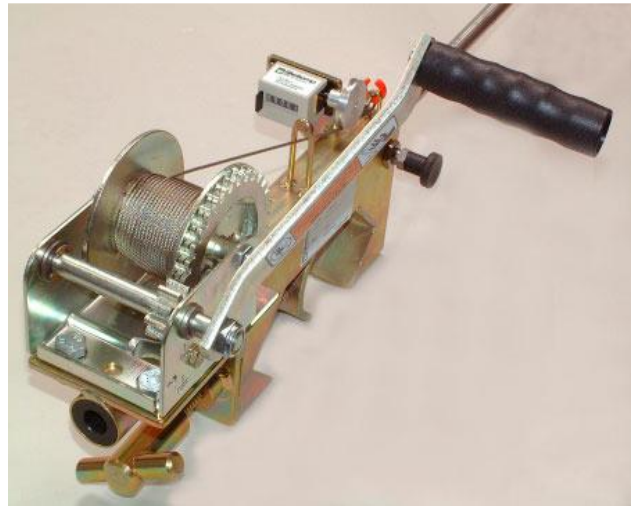
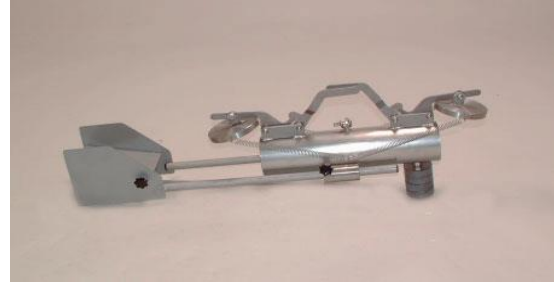


Figura 4. Amostrador Water Trap Sampler



Figura 5. Amostrador Van Veen Grabs



Figura 6. Molinete Hidrométrico OTT C31, Acessório OTT Z400

3.3. Caracterização da batimetria do canal principal

Para a caracterização da batimetria foi realizada a avaliação do efeito da mudança do canal no nível de água, objectivando a determinação de alterações no perfil do leito e nas secções transversais do canal, perfis longitudinais com finalidade de avaliar o volume de sedimentos depositado. Os dados batimétricos foram medidos por levantamento em intervalos de 100m, usando o GPS-Rover, para dois conjuntos de dados, (i) 2001- na reabilitação do SRC e (ii) 2016- na seca severa que abalou todo o SRC, estando totalmente seco. Foram realizadas leituras para as margens leste e oeste, e o leito do canal, incluindo dois pontos intermediários de ambos lados. Dados fornecidos pela HICEP.

3.4. Análise das características dos parâmetros físico e químicos de sedimentos

A caracterização dos parâmetros físicos e químicos dos sedimentos foi baseada em método laboratorial.

3.4.1. Sedimentos suspensos

As análises laboratoriais foram feitas no LPHAA XaiXai, onde foram analisados os parâmetros físicos e químicos. As análises consistiram na determinação de pH, Condutividade Eléctrica,

Temperatura e TDS (Electrométrie), Turbidez (Nefelométrico), Dureza & Cálcio (método Titrimétrico) e Magnésio (diferença).

3.4.2. Sedimentos de fundo

Parte das análises dos sedimentos foram feitas no laboratório da ANE - XaiXai tendo sido necessário uma repartição das amostras em duas partes para o devido efeito, lá foram analisados a granulometria das partículas, e os limites de liquidez, de plasticidade e o índice de plasticidade. As restantes partes da amostra, foram levadas ao laboratório da UEM - FAEF para análises de pH em água, CE, Cálcio, Magnésio, Potássio, Sódio. Foram realizados cálculos aritméticos para a determinação do RAS e PST.

Tabela 3. Quantidade de amostras de sedimentos

ANE		UEM - FAEF	
Muianga	Marrambadjane	Muianga	Marrambadjane
Peso da amostra	Peso da amostra	Peso da amostra	Peso da amostra
8.945 kg	4.502 kg	2.375 kg	0.735 kg

3.4.2.1. Razão de Adsorção de Sódio (RAS)

A partir dos valores de, Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} resultado das análises feitas, foi calculada a razão de adsorção de sódio (RAS), por meio da equação abaixo.

$$RAS = \frac{\text{Na}^+}{\frac{\sqrt{\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}}}{2}} \quad (3.1)$$

Onde:

RAS- Razão de Adsorção de Sódio;

Na^+ - Teor de sódio na água $\text{mmol}_c \cdot \text{L}^{-1}$;

Ca^{2+} - Teor de cálcio na água $\text{mmol}_c \cdot \text{L}^{-1}$;

Mg^{2+} - Teor de magnésio na água $\text{mmol}_c \cdot \text{L}^{-1}$.

3.4.2.2. Percentagem de Sódio Trocável (PST)

Com os valores de, Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ das análises feitas calculou-se o valor da percentagem de sódio trocável, através da equação.

$$PST = \left(\frac{Na^+}{Na^+ + Ca^{2+} + K^+ + Mg^{2+}} \right) \times 100 \quad (3.2)$$

Onde:

Mg²⁺- Teor de magnésio na água mmol_c*kg⁻¹;

Ca²⁺- Teor de cálcio na água mmol_c*kg⁻¹;

K⁺- Teor de potássio na água mmol_c*kg⁻¹;

Na⁺- Teor de sódio na água mmol_c*kg⁻¹;

PST - Percentagem de Sódio Trocável.

3.5. Caracterização da variação do fluxo hídrico

Os valores gerados na medição da velocidade da água através do molinete, e a medição da secção do canal, foi calculado o valor de caudal, de acordo com a equação de continuidade.

$$Q = V * A \quad (3.3)$$

Onde:

Q - Vazão (m³/s),

V - Velocidade de escoamento (m/s) e

A- Área da secção do canal (m²).

Para a determinação do escoamento, laminar, transição ou turbulento, usou - se o coeficiente de Reynolds, Re, que ilustra a importância das forças de viscosidade na geração de um fluxo num canal (Gonçalves, 2016).

$$Re = \mu * Rh/\vartheta \quad (3.4)$$

Onde:

μ- Velocidade característica (m/s);

Rh - Raio hidráulico (m), relação entre a área da secção molhada (A, m²) e o perímetro molhado da mesma (P, m);

ν - Viscosidade cinemática do fluido, (m²/s).

Escoamento laminar - se $Re < 500$;

Escoamento de transição - se $500 < Re < 2000$;

Escoamento turbulento - se $Re > 2000$.

O número de Froude, Fr , que é um número adimensional utilizado em escoamentos de superfície livre, representa a relação entre uma velocidade característica e a velocidade gravitacional, dado pela formula:

$$Fr = u / \sqrt{g * h} \quad (3.5)$$

Onde:

u - Velocidade característica (m/s);

g - Aceleração gravítica (m/s²);

h - Profundidade hidráulica (m), resulta da equação $h=A/B$ (A , a área da secção transversal, m², B , largura da superfície livre, (m);

Escoamento fluvial (lento) - se $Fr < 1$;

Escoamento torrencial (rápido) - se $Fr > 1$;

Escoamento crítico - se $Fr = 1$.

3.6. Análise e interpretação dos dados

Para a limpeza e organização de dados usou-se o software MS Office 2016, e para análise e interpretação dos dados o software XLStat 2021 versão 3.1, no pacote estatístico foram feitas ANOVA, Estatística Descritiva, para arrolar a presença e ou ausência dos outliers. Para casos em que os testes tiveram abaixo do nível de significância de 0.05, foi realizado teste de comparação de Turkey, para saber do qual dos parâmetros teve mais impacto no teste.

IV. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Batimetria do canal principal

As Figuras 6 e 7, ilustram gráficos gerados através de dados batimétricos, com pontos equidistantes á 100m. No ano de 2001, na baqueta esquerda temos alturas que variam entre 19.588 á 30.771, altura mínima e máxima respectivamente, ao passo que no ano 2016 obteve-se 20.013 á 31.628. Na base central do canal em 2001 registrou se 17.023 á 26.321 e no ano de 2016 registrou 17.422 á 29.201. No ano de 2001, na baqueta direita temos alturas que variam entre 19.633 á 30.771, ao passo que no ano 2016 obteve-se 20.058 á 31.746. Essas diferenças de altura e os gráficos mostram que com o passar do tempo á acumulo de deposição de sedimentos, obrigando com que o canal perca a sua forma, passando a ter uma forma geométrica não classificável devido a esse fenómeno.

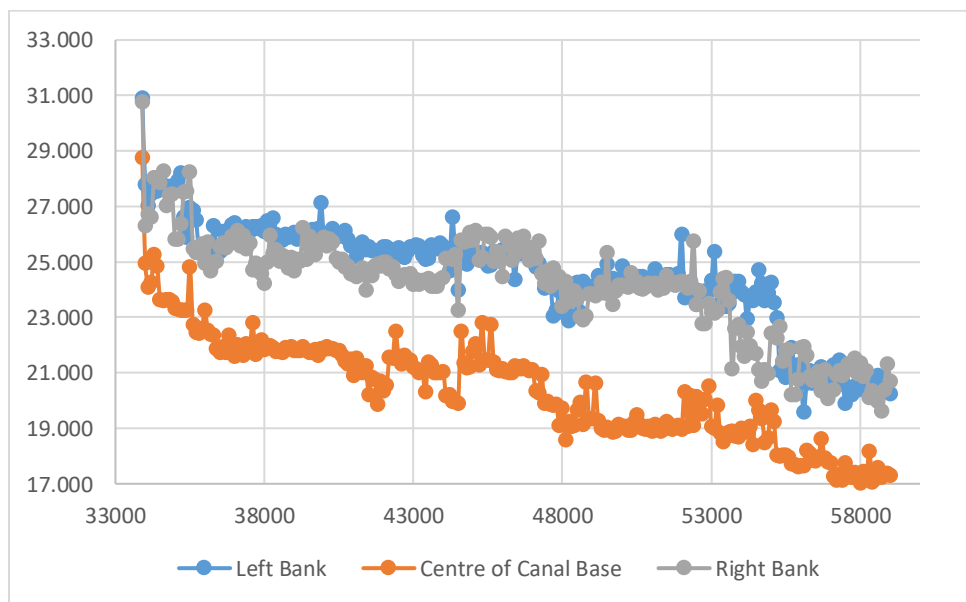


Figura 7. Batimetria do canal principal no sector Rio no ano de 2001

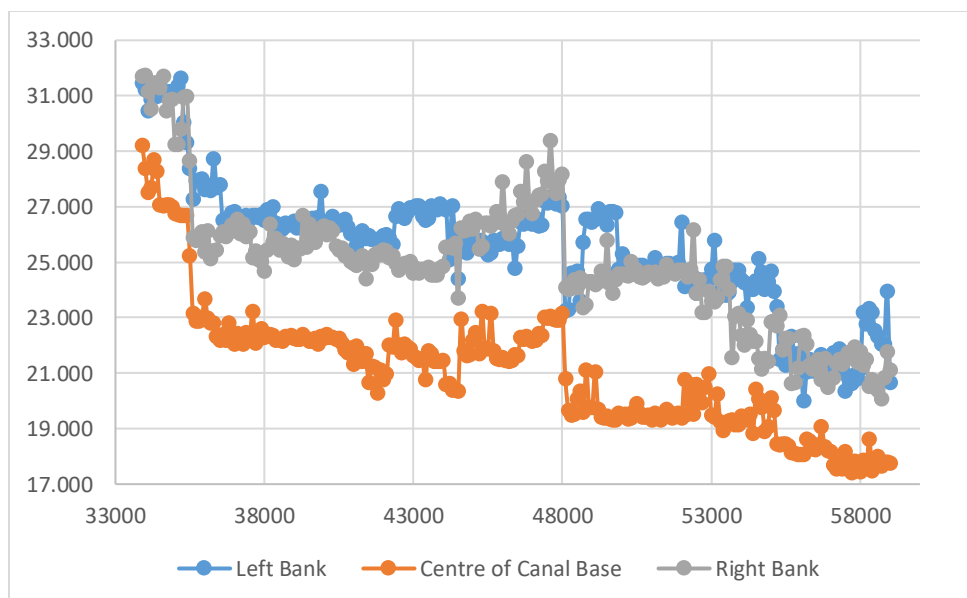


Figura 8. Batimetria do canal principal no sector Rio no ano de 2016

4.2. Características dos parâmetros físico e químicos de sedimentos

4.2.1. Sedimentos Suspensos

A interpretação dos parâmetros foi procedida através de análises laboratoriais, que resultaram no seguinte:

As Tabelas 3 e 4, apresentam os resultados de pH, obtidos através do teste de ANOVA, onde ilustram que o parâmetro para ambos pontos de colecta não teve um nível significância, querendo dizer que ambas as médias, 6.83 para Marrambadjane e 6.82 em Muianga, seguem a distribuição normal, tal como o padronizado.

4.2.1.1. Parâmetros Físicos e Químico dos sedimentos

Tabela 4. Resultados de pH em Marrambadjane

Análise da variância						
Fonte	GL	Soma dos quadrados	Média dos quadrados	F	Pr > F	
Modelo	2	0.041	0.021	1.017	0.391	
Erro	12	0.245	0.020			

Total corrigido	14	0.286
-----------------	----	-------

Tabela 5. Resultados de pH em Muianga

Análise da variância					
Fonte	GL	Soma dos quadrados	Média dos quadrados	F	Pr > F
Modelo	2	0.016	0.008	0.821	0.459
Erro	15	0.147	0.010		
Total corrigido	17	0.163			

A importância do pH se dá sobretudo devido ao mesmo afetar o metabolismo de inúmeras espécies aquáticas. Em determinadas faixas o pH pode contribuir para a precipitação de elementos tóxicos, como metais pesados, e desta forma estabeleceu-se como intervalo admissível para o pH em mananciais de classe II aquele que vai de 6 á 9. Desta forma, deve-se ressaltar que, apesar desta condição, não se pode deixar de considerar que pH's maiores que 7, pois incorrem em condições de alcalinidade (Cardoso and de Carvalho, 2017). O pH para o uso da irrigação possui um limite de 7,0 a 9,0 considerado normal.

Nas Tabelas 5 e 6, estão patentes os resultados de CE, que de acordo com o teste F, realizado ao nível de significância de 5%, mostra que em Marrambajane bem como Muianga com médias 491.2 e 511.3 respectivamente, a CE, ela apresentou-se de forma mais significativa em ambos pontos.

Tabela 6. Resultados de CE em Marrambadjane

Análise da variância					
Fonte	GL	Soma dos quadrados	Média dos quadrados	F	Pr > F
Modelo	2	14705.633	7352.817	35.872	<0.0001
Erro	12	2459.700	204.975		
Total corrigido	14	17165.333			

Tabela 7. Resultados de CE em Muianga

Análise da variância					
Fonte	GL	Soma dos quadrados	Média dos quadrados	F	Pr > F
Modelo	2	523.371	261.686	7.598	0.005
Erro	15	516.629	34.442		

Total corrigido 17 1040.000

A condutividade elétrica (CE) varia de 500 a 530 $\mu\text{S}/\text{cm}$. A CE em ambientes aquáticos está frequentemente associada à presença de sólidos dissolvidos e com a salinidade, sendo importante por indicar a contaminação por efluentes domésticos ou industriais. O valor da CE em águas naturais pode variar de 100 a 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Cardoso and de Carvalho, 2017).

Classificou a água em quatro classes: C1, C2, C3 e C4, cujo critério é a concentração dos sais presentes na água, sendo o C1 ($\text{CE} < 0,25 \text{ dS m}^{-1}$), água de baixa salinidade, pode ser utilizada na maioria das culturas e solos, C2 ($\text{CE}: 0,25-0,75 \text{ dS m}^{-1}$) caracterizada por apresentar água de média salinidade, após realizar a lixiviação dos sais, pode ser utilizada para plantas moderadamente tolerantes, C3 ($\text{CE}: 0,75-2,25 \text{ dS m}^{-1}$) água de alta salinidade, deve ser utilizada para espécies altamente tolerante aos sais, não indicado para solos que possuem pouca drenagem, C4 ($\text{CE} > 2,25 \text{ dS m}^{-1}$) é caracterizada por águas de muito alta salinidade, usada em solos permeáveis e culturas altamente tolerantes aos sais, com auxílio de drenagem adequada, utilizando água em excesso para haver lixiviação dos sais (Nascimento, 2020).

Para o parâmetro Turbidez nas tabelas 7 e 8, o teste indicou que para Marrambadjane, com média 22.8 o parâmetro não foi impactante, ao passo que em Muianga, com uma média de 40.5, teve um nível de significância muito maior, querendo dizer pelo menos uma das amostras gerou maior turbidez.

Tabela 8. Resultados de Turbidez em Marrambadjane

Análise da variância					
Fonte	GL	Soma dos quadrados	Média dos quadrados	F	Pr > F
Modelo	2	1143.931	571.965	2.543	0.120
Erro	12	2698.806	224.900		
Total corrigido	14	3842.736			

Tabela 9. Resultados de Turbidez em Muianga

Análise da variância					
Fonte	GL	Soma dos quadrados	Média dos quadrados	F	Pr > F
Modelo	2	27722.178	13861.089	102.268	<0.0001
Erro	15	2033.057	135.537		
Total corrigido	17	29755.236			

Segundo Babilônia (2021), estabelece para a classe II das águas doces o limite de 100 UNT e todas as seções se enquadram no valor estabelecido exceção apenas no período de chuva. Raymundi (2017) também constatou valores elevados de turbidez no período chuvoso.

Sendo a condutividade uma medida de carga iônica de amostras, existe uma relação direta entre a mesma com os sólidos totais dissolvidos, o diagnóstico de partículas em suspensão, ou de outras substâncias no meio aquático, que geram a turbidez, indicam o agravamento de poluição. (Marinho *et al.*, 2020).

As Tabelas 9 e 10, apresentam os resultados de TDS, obtidos através do teste de ANOVA, onde ilustram que o parâmetro para ambos pontos, teve um nível significância, querendo dizer que pelo menos uma dentre ambas médias, pelo menos uma gera valores mínimo e máximo.

Tabela 10. Resultados de TDS em Marrambadjane

Análise da variância					
Fonte	GL	Soma dos quadrados	Média dos quadrados	F	Pr > F
Modelo	2	3967.300	1983.650	386.216	<0.0001
Erro	12	61.633	5.136		
Total corrigido	14	4028.933			

Tabela 11. Resultados de TDS em Muianga

Análise da variância					
Fonte	GL	Soma dos quadrados	Média dos quadrados	F	Pr > F
Modelo	2	126.063	63.032	5.179	0.019
Erro	15	182.548	12.170		
Total corrigido	17	308.611			

Os valores dos Sólidos Totais Dissolvidos apresentam um comportamento semelhante a CE, essa proporcionalidade é explicada em virtude da concentração da carga iônica de amostras orgânicas e inorgânicas dissolvidas na água. O conteúdo de sólidos totais geralmente varia de 20 a 1000 mg L⁻¹ e o limite estabelecido é de 500 mg L⁻¹ mínimos e máximos de TDS. O lançamento de resíduos industriais e domésticos é o principal responsável pelo aumento da presença de sólidos na água. (Marinho *et al.*, 2020)

De Miranda et al. (2016) explica que a relação de proporcionalidade entre Sólidos Totais Dissolvidos e Condutividade Elétrica, baseia-se no fato de ambos estarem relacionados com a dispersão de substâncias dissolvidas na água. A diferença está no tipo de dissolução dos compostos envolvidos, TDS estão relacionados às substâncias em suspensão de natureza orgânica e inorgânica, e a CE, faz relação à natureza iônica dos sais presentes na dispersão dessas substâncias.

As partículas em suspensão aumentam os valores de Turbidez, e a decomposição da matéria faz com que aumente a concentração de iões, elevando assim os valores de CE e TDS (Marinho *et al.*, 2020).

As Tabelas 11 e 12, apresentam os resultados de Dureza total, obtidos através do teste de ANOVA, onde ilustram que o parâmetro para ambos pontos de colecta não teve um nível significância, querendo dizer que ambas as médias, 40.8 para Marrambadjane e 42.9 em Muianga, seguem a distribuição normal.

Tabela 12. Resultados de Dureza total em Marrambadjane

Análise da variância					
Fonte	GL	Soma dos quadrados	Média dos quadrados	F	Pr > F
Modelo	2	58.867	29.433	3.621	0.059
Erro	12	97.533	8.128		
Total corrigido	14	156.400			

Tabela 13. Resultados de Dureza total em Muianga

Análise da variância					
Fonte	GL	Soma dos quadrados	Média dos quadrados	F	Pr > F
Modelo	2	36.978	18.489	1.864	0.189
Erro	15	148.800	9.920		

Total corrigido	17	185.778
-----------------	----	---------

De acordo com Nascimento (2020), dureza da água representada pela soma de cátions como o cálcio, manganês, em geral associada à presença de iões alcalinos terrosos, expressa pela concentração de CaCO_3 , cuja análise é realizada por titulometria, apresenta como efeitos baixa dissolução de detergentes, desagradável ao paladar e afeta canalizações por depósitos de calcário, em máquinas de lavar, chuveiros e torneiras.

As Tabelas 13 e 14, apresentam os resultados de Cálcio, obtidos através do teste de ANOVA, onde ilustram que o parâmetro para ambos pontos de colecta não teve um nível significância, querendo dizer que ambas as médias, 29.3 para Marrambadjane e 29 em Muianga, seguem a distribuição normal, tal como o padronizado.

Tabela 14. Resultados de Cálcio em Marrambadjane

Análise da variância					
Fonte	GL	Soma dos quadrados	Média dos quadrados	F	Pr > F
Modelo	2	16.517	8.259	1.001	0.396
Erro	12	99.040	8.253		
Total corrigido	14	115.557			

Tabela 15. Resultados de Cálcio em Muianga

Análise da variância					
Fonte	GL	Soma dos quadrados	Média dos quadrados	F	Pr > F
Modelo	2	30.310	15.155	0.544	0.592
Erro	15	418.190	27.879		
Total corrigido	17	448.500			

As Tabelas 15 e 16, apresentam os resultados de Magnésio, obtidos através do teste de ANOVA, onde ilustram que o parâmetro para ambos pontos de colecta não teve um nível significância, querendo dizer que ambas as médias, 2.78 para Marrambadjane e 3.29 em Muianga, seguem a distribuição normal.

Tabela 16. Resultados de Magnésio em Marrambadjane

Análise da variância

Fonte	GL	Soma dos quadrados	Média dos quadrados	F	Pr > F
Modelo	2	1.138	0.569	2.402	0.133
Erro	12	2.843	0.237		
Total corrigido	14	3.981			

Tabela 17. Resultados de Magnésio em Muianga

Análise da variância

Fonte	GL	Soma dos quadrados	Média dos quadrados	F	Pr > F
Modelo	2	0.617	0.309	0.728	0.499
Erro	15	6.363	0.424		
Total corrigido	17	6.980			

O cálcio e o magnésio possuem como principal fonte no meio aquático, o contato da água com minerais que possuem esses elementos em sua composição, sua concentração do cálcio varia de 15 mg/L em corpos hídricos até concentrações superiores a 100 mg/L em águas subterrâneas, a concentração do magnésio em águas naturais é de 4 mg/L e na subterrânea apresenta valores de 5 mg/L, sua análise pode ser realizada por espectroscopia de absorção, de massa ou cromatográfica iônica, são estimados de forma associada por apresentarem efeito balanceador em relação ao sódio e por possuir potencial de formar precipitados com bicarbonato e sulfato na água causando risco de entupimento das tubulações (Nascimento, 2020).

4.2.2. Sedimentos Fundos

A Tabela 29, comporta resultados de parâmetros analisados em laboratório e de cálculos aritméticos de PST com valores 1.560 e 0.932 e de RAS 0.169 e 0.087, para Marrambadjane e Muianga respectivamente.

Tabela 18. Resultados do cálculo do PST e RAS

	pH	CE	Na⁺	K⁺	Ca⁺	Mg⁺	PST	RAS
Marrambadjane	7.70	0.556	0.44	0.57	25.60	1.60	1.560	0.169
Muianga	8.54	0.293	0.20	0.06	18.80	2.40	0.932	0.087

Para uma boa análise de granulometria dos sedimentos, é necessário o cálculo dos Coeficientes de Curvatura e de Uniformidade. Para Marrambadjane temos CC e CU ambos em 1 mm, ilustrando a forma da curva granulométrica e variedade das dimensões das partículas, respectivamente sendo um solo uniforme. Em Muianga, não foi possível a determinação do CC e CU, pois não houveram partículas na amostra do solo ínfimas ao diâmetro de 10 mm.

Tabela 19. Resultados do cálculo de CU, CC

Marrambadjane					Muianga		
D10	D30	D60	CC	CU	D10	D30	D60
0.150mm	0.150mm	0.150mm	1	1	--	0.150mm	0.100mm

A Tabela 31, ilustra os resultados dos limites de atterberg, indicando para Marrambadjane um IP de 32.2 sendo mais plástica e LL de 53.0. Para Muianga um IP de 4.2 e LL de 21.2.

Tabela 20. Resultados dos limites de Atterberg

Marrambadjane			Muianga		
LL	LP	IP	LL	LP	IP
53.0	20.8	32.2	21.2	17.0	4.2

Onde:

LL- Limite de Liquidez;

LP- Limite de Plasticidade;

IP- Índice de Plasticidade;

4.2.2.1. Granulometria Marrambadjane

A Figura 8, a curva granulométrica mostra que cerca de 72.5% da amostra é Areia Fina, 22.4 Areia Média, e 0.8 de Areia grossa e nada de cascalho.

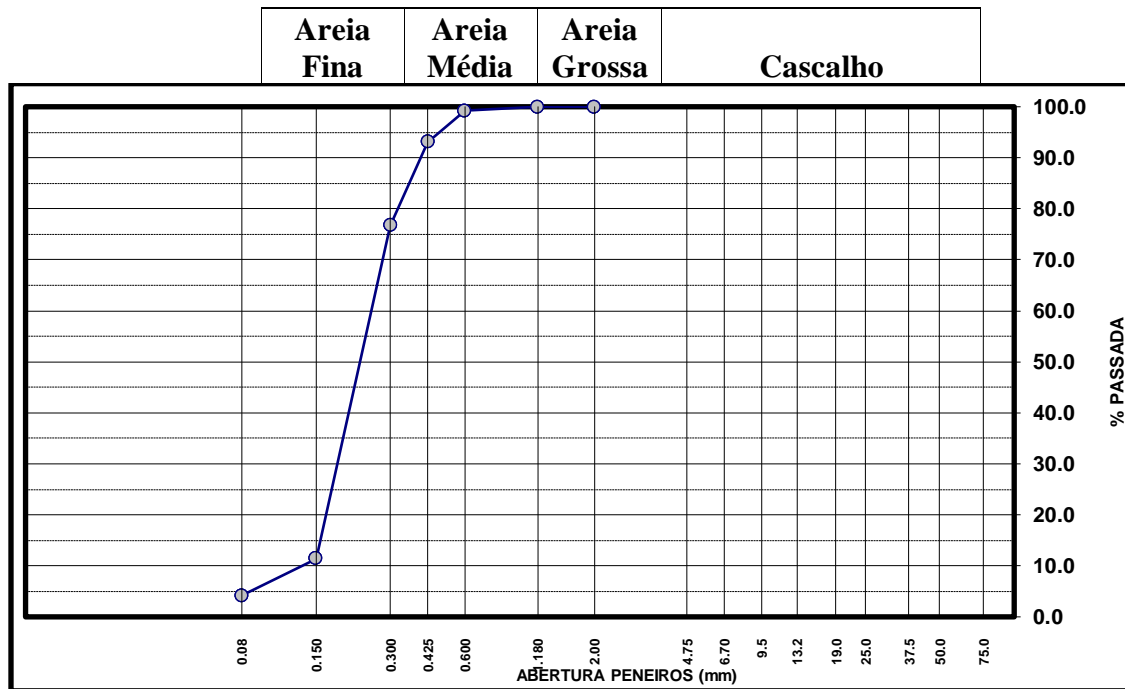


Figura 9. Curva granulométrica Marrambadjane

4.2.2.2. Granulometria Muianga

A figura 9, a curva granulométrica mostra que cerca de 22.4% da amostra é Areia Fina, 49.3 Areia Média, e 2.2 de Areia grossa e nada de cascalho.

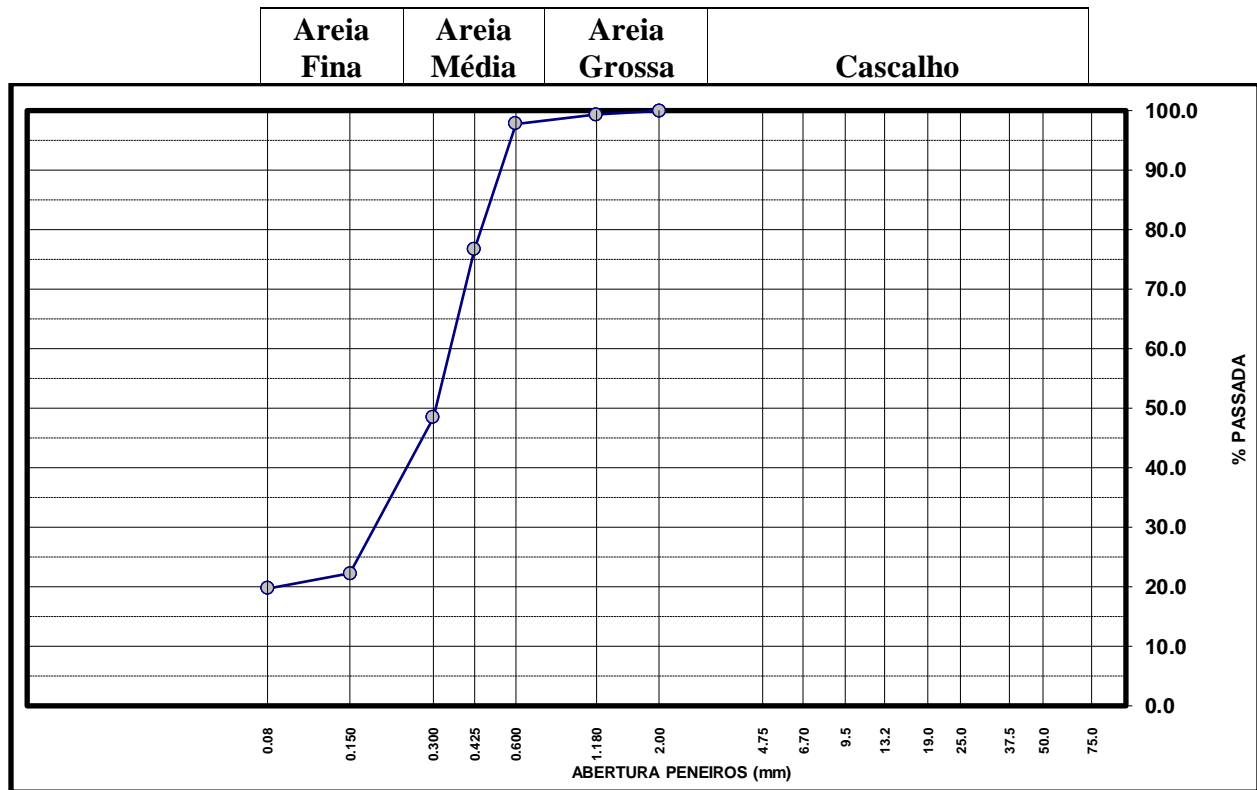


Figura 10. Curva granulométrica Muianga

Para Amui (2020) a fração transportada é resultado da energia das ondas e correntes e do tipo de mobilização e velocidade de queda que os grãos apresentam, estes últimos processos são determinados pelas características granulométricas do grão. Se a energia for suficiente para transportar por arrasto os grãos grossos, eles serão transportados com os finos em suspensão, desta forma permanecem os grãos intermediários, que são submetidos a outros processos como o espraçamento e trocas transversais.

4.3. Variação do fluxo hídrico

Tabelas 32, 33, ilustram variáveis hidráulicas de ambos pontos de colheita, tendo um caudal que varia entre 119 á 169 m³/s em Marrambadjne e 113 á 246 m³/s em Muianga. Com uma velocidade

média de 13.76 e 10.63 dos três dias de colheita em Marrambadjane e Muianga respectivamente. Com o coeficiente de Reynold classificamos o escoamento como turbulento e com número de Froude o escoamento é torrencial/rápido.

Tabela 21. Resultados das variáveis hidráulicas (1).

Local	Datas de colheita	V (m/s)	A (m ²)	Q (m ³ /s)	u (m/s)	Rh (m)
Marrambadjane	01/07/2021	13.68	10.45	142.956	13.68	1.5566038
Marrambadjane	20/07/2021	16.18	10.45	169.081	16.18	1.5181388
Marrambadjane	12/08/2021	11.425	10.45	119.39125	11.425	1.3618211
Muianga	01/07/2021	13.62	18.08	246.2496	13.62	1.7538813
Muianga	20/07/2021	12	18.08	216.96	12.0	1.8606393
Muianga	12/08/2021	6.26	18.08	113.1808	6.26	1.5556164

Designação: V-velocidade do escoamento, A- área, Q- caudal, u- velocidade da característica, Rh- raio hidráulico.

Tabela 22. Resultados das variáveis hidráulicas (2).

Local	Datas de colheita	ν (m ² /s)	Re	g (m/s ²)	h(m)	Fr
Marrambadjane	01/07/2021	8.93E-07	23845845.04	9.81	1.546875	3.511753
Marrambadjane	20/07/2021	8.93E-07	27506703.03	9.81	1.503906	4.212439
Marrambadjane	12/08/2021	8.93E-07	17423074.93	9.81	1.332031	3.160563
Muianga	01/07/2021	8.93E-07	26750126.56	9.81	1.753881	3.283541
Muianga	20/07/2021	8.93E-07	25002991.3	9.81	1.860639	2.808767
Muianga	12/08/2021	8.93E-07	10904993.17	9.81	1.555616	1.602465

Designação: ν -viscosidade cinemática, Re- coeficiente de Reynold, g-velocidade gravitacional, h- profundidade hidráulica, Fr-número de Froude.

Gonçalves (2017) relacionou o número de Froude com o coeficiente de Reynolds que resultou em quatro subsequentes regimes de escoamento: (i) fluvial/laminar - $Fr < 1$ e $Re < 500$, (ii) fluvial/turbulento $Fr < 1$ e $Re > 2000$, (iii) torrencial/laminar $Fr > 1$ e $Re < 5000$ e o torrencial/turbulento $Fr > 1$ e $Re > 2000$. Para dois pontos de colecta o regime que se adequa é torrencial/turbulento $Fr > 1$ e $Re > 2000$.

A vazão é determinada pelo produto da área molhada da subseção escolhida pela velocidade média do escoamento da corrente líquida. A área molhada foi obtida pela profundidade em várias verticais escalonadas. Cada elemento de área pode ser calculado como retângulo ou trapézio de acordo com a forma da seção topobatimétrica (Peixoto, 2019).

V. CONCLUSÃO

Os resultados obtidos indicam que, em geral, quanto a batimetria o sector Rio mostra um acúmulo de sedimentos, o que leve/obriga ao canal perder a sua forma originaria, passando para uma forma geométrica não definida. A caracterização da granulometria dos sedimentos de fundo, foi essencial para a determinação da curva granulométrica pois identificou o material do fundo do canal, Marrambadjane o material de fundo é areia média fina e em Muianga areia fina. As características hidráulicas e geométricas obtidas nos pontos de colecta, apresentaram variações entre o período de amostragem. A vazão do canal em ambos pontos obteve variações ao passo que a velocidade de escoamento observou valores médios, não variando.

VI. RECOMENDAÇÕES

Durante a realização do trabalho, existiram alguns pontos que ficaram pendentes devido o tempo em que o mesmo foi feito. Por meio dessa situação algumas recomendações serão deixadas como forma de guia para resolução do problema:

- ❖ Estudos dos processos de sedimentação e variação do fluxo hídrico na época chuvosa, de modo que se conheça o comportamento desses processos ao longo do ano.
- ❖ A entidade gestora do SRC, a fazer monitoramento mais conciso deste problema, minimizado o risco de todo o sistema estar assoreado de sedimentos.

VII. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Abreu Neto, J. *et al.* (2019) ‘*Caracterização Morfológica da Plataforma Continental de Icapuí Utilizando Dados Batimétricos*’, *Estudos Geológicos*, 29(2), pp. 3–16. doi:[10.18190/1980-8208/estudosgeologicos.v29n2p3-16](https://doi.org/10.18190/1980-8208/estudosgeologicos.v29n2p3-16).
2. Almeida, W.S. de *et al.* (2019) ‘*Sediment production and soil water infiltration under different simulated rainfall characteristics*’, *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 23(8), pp. 572–578. doi:[10.1590/1807-1929/agriambi.v23n8p572-578](https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v23n8p572-578).
3. Amâncio, D.V. *et al.* (2020) ‘*Avaliação Da Descarga Sólida Em Suspensão Nas Sub-Bacias Hidrográficas Dos Rios Capivari E Mortes*’, *Sustentare*, 4(1). doi:[10.5892/st.v4i1.6163](https://doi.org/10.5892/st.v4i1.6163).
4. Amui, C.D.O. (2020) ‘*Análise Granulométrica de Sedimentos Fluviais na Bacia do Rio das Almas, Goiás*’, p. 28.
5. Arroio Junior, P. P. (2013) *Avaliação da produção e transporte de sedimentos na bacia hidrográfica do Rio Itaqueri, municípios de Itirapina e Brotas - SP*. Mestrado em Ciências da Engenharia Ambiental. Universidade de São Paulo. doi: [10.11606/D.18.2013.tde-02052013-083541](https://doi.org/10.11606/D.18.2013.tde-02052013-083541).
6. Campagnolo, K., Kobiyama, M. and Fan, F.M. (2020) ‘*Panorama geral sobre estudos da influência dos detritos lenhosos na dinâmica de rios do mundo e do Brasil*’, *Ciência e Natura*, 42, p. e62. doi:[10.5902/2179460X39228](https://doi.org/10.5902/2179460X39228).
7. Cardoso, C.L. and de Carvalho, G.B. (2017) ‘*Análise De Parâmetros De Qualidade Da Água Do Lago Ferreira Mattos – Governador Valadares-Mg*’, p. 8.
8. Chaves, A.D.C.G. *et al.* (2015) ‘*Condutividade elétrica, pH e a relação adsorção de sódio nas águas de poços do município de Pombal-PB*’, *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, 10(1), p. 06. doi:[10.18378/rvads.v10i1.3222](https://doi.org/10.18378/rvads.v10i1.3222).
9. Crispim, D. L. *et al.* (2015) ‘*Transporte E Caracterização De Sedimentos De Fundo No Rio Piranhas Em Uma Seção De Controle Próximo À Sede Do Município De Pombal-Pb*’, *Holos*, 3, p. 93. doi: [10.15628/holos.2015.2518](https://doi.org/10.15628/holos.2015.2518)
10. Cunha Filho, M. *et al.* (2012) ‘*Alguns Modelos de Transporte de Sedimentos para o Curso D’água Numa Bacia Semiárida do Estado de Pernambuco*’, in *Anais do VIII Simpósio Brasileiro de Captação e Manejo de Água de Chuva. VIII Simpósio Brasileiro de Captação*

e Manejo de Água de Chuva, Campina Grande, Paraíba, Brasil: Instituto Nacional do Semiárido. doi: [10.12702/8sbcmac-a097](https://doi.org/10.12702/8sbcmac-a097).

11. De Sousa, L. S. *et al.* (2019) ‘*Assessment of Water Flow and Sedimentation Processes in Irrigation Schemes for Decision-Support Tool Development: A Case Review for the Chókwè Irrigation Scheme, Mozambique*’, *AgriEngineering*, 1(1), pp. 100–118. doi: [10.3390/agriengineering1010008](https://doi.org/10.3390/agriengineering1010008).
12. Demarco, L. (2019a) *Caracterização dos processos sedimentares em trecho do canal de acesso ao Porto de Santos, por meio de métodos acústicos*. Mestrado em Oceanografia Geológica. Universidade de São Paulo. doi:[10.11606/D.21.2019.tde-01072019-154053](https://doi.org/10.11606/D.21.2019.tde-01072019-154053).
13. Garcia, A.A.C. (2017) ‘*Estimativa Da Descarga Sólida E Granulometria Do Sedimento De Fundo Do Rio Iguatemi*’, p. 46.
14. Gonçalves, D.A.A. (2017) ‘*Dissertação apresentada ao Programa de Pós- Graduação em Ciência Animal da Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Mestre em Ciência Animal.*’, p. 59.
15. Gonçalves, J. A. V., 2016. *Caracterização do Coeficiente de Rugosidade e seu Efeito no Escoamento em Canais Naturais Simulação e modelação (à escala) no laboratório de hidráulica Aplicação às ribeiras do Funchal*.
16. HICEP, 2003. *Descrição Técnica Do Regadio Do Chókwè*. Chokwe: Hidráulica de Chókwè, EP.
17. MAE, M. d. A. E., 2012. *Perfil Do Distrito Do Chókwè Província De Gaza*. 1º ed. s.l.:Ministério da Administração Estatal.
18. Marinho, E.R. *et al.* (2020) ‘*Avaliação da Ação Urbana no Canal Água Cristal em Belém, Pará, um Estudo Sobre Qualidade da Água*’, *Revista Brasileira de Geografia Física*, 13(1), p. 322. doi:[10.26848/rbgf.v13.1.p322-335](https://doi.org/10.26848/rbgf.v13.1.p322-335).
19. Marques, V.C. and Nicolodi, J.L. (2021) ‘*Análise da sedimentologia como subsídio à avaliação da sensibilidade ambiental a óleo da Bacia Sedimentar de Pelotas-RS/SC, Brasil*’, *Geography Department University of Sao Paulo*, 41, p. e170285. doi:[10.11606/eISSN.2236-2878.rdg.2021.170285](https://doi.org/10.11606/eISSN.2236-2878.rdg.2021.170285).
20. Miranda, M. V. T., Santos, M. D. L. S., Pereira, J. A. R., & Mesquita, K. F. C. (2016). *Índices de qualidade da água da Ilha de Mosqueiro-PA*.

21. Nascimento, S.A. 2020 ‘‘*Estudo hidrogeoquímico comparativo entre os aquíferos Barreiras, Marizal e São Sebastião na região do Recôncavo Norte, estado da Bahia. Cadernos de Geociências, v. 11, n. 1-2, nov. 2014*’’. Disponível em: <<https://periodicos.ufba.br/index.php/cadgeoc/article/view/11318>>. Acesso em: 26 out. 2021.
22. Osman, I. S. (2015) *Impact of improved operation and maintenance on cohesive sediment transport in Gezira Scheme, Sudan*.
23. Peixoto, R. de A.O. (2019) *Estudo do transporte de sedimentos na bacia hidrográfica do rio Jordão – UPGRH-PN 1*. Universidade Federal de Uberlândia. doi:[10.14393/ufu.di.2019.1281](https://doi.org/10.14393/ufu.di.2019.1281).
24. Peixoto, R. de A.O. et al. (2020) ‘*Determinação da relação entre vazões líquida e sólida e análise de fatores que influenciam a dinâmica do transporte de sedimentos na Bacia Hidrográfica do Rio Jordão (UPGRH-PN 1)*’, *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, 25(6), pp. 921–931. doi:[10.1590/s1413-4152202020180137](https://doi.org/10.1590/s1413-4152202020180137).
25. Raymundi, V. M. O., 2017 *Processo de urbanização: interferência do uso e ocupação na morfologia do Canal do Junco, Cáceres, MT. 170f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia. Universidade do Estado de Mato Grosso, UNEMAT, Cáceres, 2017*. Disponível em: <<http://biblioteca.unemat.br/>>. Acesso em: 18 out. 2021.
26. Rocha, P. C., 2016. *Geometria hidráulica e transporte de sedimentos em canais do sistema fluvial do alto rio Paraná, centro-sul do Brasil*. Geosul, Florianópolis, v. 31, n. 61, p 249-269, jan./jun. 2016.
27. Veiga, A. M. et al. (2015) ‘*Determinação da produção de sedimento através da curva-chave sedimentométrica na bacia hidrográfica do rio araguaia-go*’, p. 8.

VIII. ANEXOS

Anexo 1. Resultados das Análises físico-químicas de solo

NºLab	Referência do Cliente			pH _{H2O} (1:2.5)	CE (1:2.5)	Na	K	Ca	Mg
	Código	Prof.	Local de colheita	[-]	[mS/cm]	[meq/100g]	[meq/100]	[meq/100g]	[meq/100g]
437	Marramandjane			7.70	0.556	0.44	0.57	25.60	1.60
438	Conhane			8.17	0.259	0.23	0.21	34.00	1.60
439	Lionde			8.883	0.174	0.18	0.14	7.60	0.80
440	Muianga			8.54	0.293	0.20	0.06	18.80	2.40
441	Nó			7.55	0.012	0.50	0.46	42.80	1.20
442	4º Congresso			8.55	0.183	0.24	0.26	18.80	2.00

Anexo 2. Comparação de Tukey entre os parâmetros nos sedimentos suspensos

Profundidades / Tukey (HSD) / Analysis of the differences between the categories with a confidence interval of 95%

Contrast	Difference	Standardized difference	Critical value	Pr > Diff	Significant
CE vs Magnésio	446.022	63.535	3.126	<0.0001	Yes
CE vs pH	441.577	62.901	3.126	<0.0001	Yes
CE vs Calcio	419.500	59.757	3.126	<0.0001	Yes
CE vs Turbidez	414.445	59.037	3.126	<0.0001	Yes
CE vs Dureza	409.167	58.285	3.126	<0.0001	Yes
CE vs TDS	226.333	32.241	3.126	<0.0001	Yes
TDS vs Magnésio	219.688	31.294	3.126	<0.0001	Yes
TDS vs pH	215.243	30.661	3.126	<0.0001	Yes
TDS vs Calcio	193.167	27.516	3.126	<0.0001	Yes
TDS vs Turbidez	188.112	26.796	3.126	<0.0001	Yes
TDS vs Dureza	182.833	26.044	3.126	<0.0001	Yes
Dureza vs Magnésio	36.855	5.250	3.126	0.000	Yes
Dureza vs pH	32.410	4.617	3.126	0.001	Yes
Dureza vs Calcio	10.333	1.472	3.126	0.759	No
Dureza vs Turbidez	5.278	0.752	3.126	0.988	No
Turbidez vs Magnésio	31.577	4.498	3.126	0.001	Yes
Turbidez vs pH	27.132	3.865	3.126	0.008	Yes
Turbidez vs Calcio	5.055	0.720	3.126	0.990	No
Calcio vs Magnésio	26.522	3.778	3.126	0.010	Yes
Calcio vs pH	22.077	3.145	3.126	0.048	Yes
pH vs Magnésio	4.445	0.633	3.126	0.995	No
Tukey's d critical value:			4.421		

Anexo 3. Ficha dos parâmetros analisados nos sedimentos suspensos.



REPÚBLICA DE MOÇAMBIQUE
PROVINCIA DE GAZA
SERVIÇO PROVINCIAL DE SAÚDE
LABORATÓRIO PROVINCIAL DE HIGIENE DE ÁGUAS E ALIMENTOS
BOLETÍN DE ANALISÉ DE ÁGUA

Ficha nº 0 m	Registo nº _____ LPHAA/SPS-GZ/2020
Proveniência da amostra: Muinga	Data de inicio da analise 12/8/ 2021
Data da colheita de amostra: 12/8/ 2021	Data fim da analise 16/8/ 2021
Data de chegada ao laboratório 12/8/ 2021	volume da amostra: 1500ml
Fonte: _____ Tipo de água: Não tratada	Motivo da colheita: C.Q.Estudo
Entidade requisitante: Elcio Matimula	

Parâmetros	Resultado	Método	Limite		Unidades	Tipos de Análises
			Mínimo	Máximo		
PH	6,73	Electrométria	6.5	8.5	-	<i>Físicas e organolepticas</i>
Cor	l.corada	Visual	-	Incolor	-	
Depósito	presente	Visual	-	Ausente	-	
Cond. eléctrica	523	Electrométria	50	2000	µs/cm	
Turvação	130,76	Nefelométrico	-	5	NTU	
Temperatura	24,2	Electrométria	-	-	°C	
Cheiro	desagradável	Olfactivo	-	Inodoro	-	
Sabor	-	Paladar	-	Insípido	-	
TDS	266	Electrométria	-	1000	mg/l	
Coliformes totais	>100	M. filtrante	-	Ausente	ufc/100ml	
Coliformes fecais	90	M. filtrante	-	Ausente	ufc/100ml	<i>Microbiológicas</i>
Nitratos	<0,6	Colorimétrico	-	50	mg/l	
Nitritos	<0,05	Colorimétrico	-	3.0	mg/l	<i>Químicas</i>
Amoniaco	<0,06	Colorimétrico	-	1.5	mg/l	
Dureza total	40	Titrimétrico	-	500	mg/l	
Cloretos	106,35	Mohr	-	250	mg/l	
Cálcio	28	Titrimétrico	-	50	mg/l	
Magnésio	3.0	Diferença	-	50	mg/l	
Sulfatos	21	Turbidimétrico	-	250	mg/l	
Ferro total	0,03	Colorimétrico	-	0.3	mg/l	
Alcalinidade total	30	Titrimétrico	-	100	mg/l	
Fósforo total	0,05	Colorimétrico	-	1.0	mg/l	
Materia organica	<2,5	Kübel	-	2.5	mg/l	

JUÍZO

A água analisada é **imprópria** de acordo com o regulamento de águas para o consumo Humano. Diploma ministerial nº 180/2004 de 15 de Setembro.

OBSERVAÇÕES: o resultado refere-se apenas a amostra analisada.

Anexo 4. Análises granulométrica Marrambadjane.

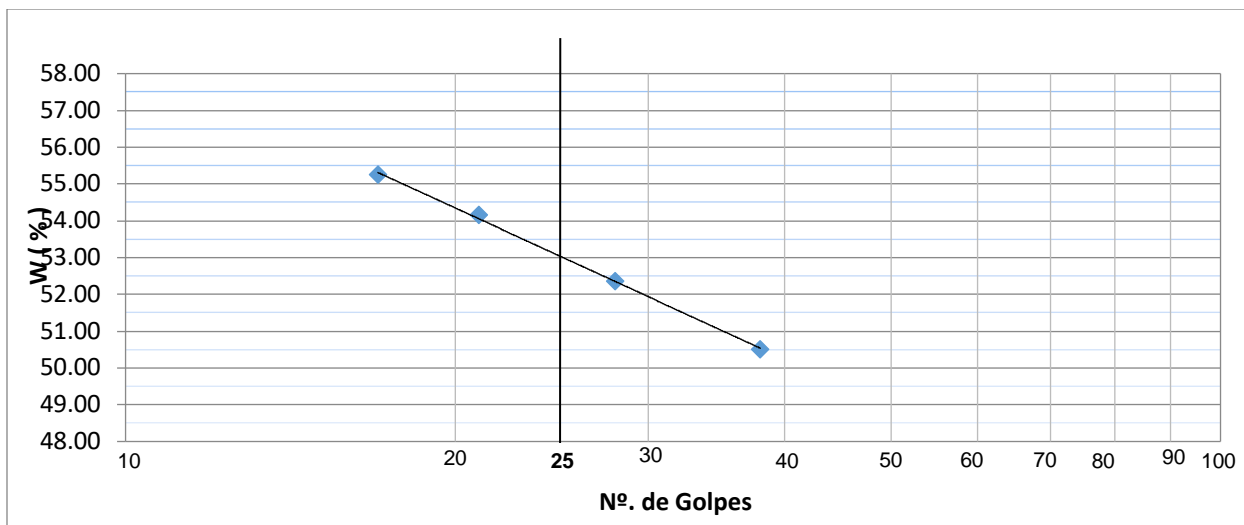
Cascalho:		%
Areia Grossa:	0.8	%
Areia Média:	22.4	%
Areia Fina:	72.5	%
Elem. < 0.075 mm	4.2	%

Peso Seco Antes Lavagem	296.9	gr
Peso Seco Após Lavagem	285.7	gr
Peso Fr. Lavada < 0.075mm	11.1	gr (P1)

Módulo Granulomet. G.M. =	1.03
----------------------------------	-------------

Penneiro mm	Peso Retido	% Retida	% Passada
75.0			
50.0			
37.5			
25.0			
19.0			
13.2			
9.5			
6.7			
4.75			
2.00			100.0
1.18	0.1	0.0	100.0
0.600	2.4	0.8	99.2
0.425	18.1	6.1	93.1
0.300	48.5	16.3	76.7
0.150	193.9	65.3	11.4
0.075	21.3	7.2	4.2
Base (P2)	1.3		
(P1)	11.1		
< 0.075	12.5	4.2	
P.Total	296.9		

Peso Total Pass. 0.075mm = (P1)+(P2)



Anexo 5. Análises granulométrica Muianga.

Cascalho:	<u>0.0</u>	%
Areia	<u>2.2</u>	%
Grossa:		
Areia	<u>49.</u>	%
Média:	<u>3</u>	
Areia	<u>28.</u>	%
Fina:	<u>7</u>	%
Elem. < 0.075 mm	<u>19.</u>	%
	<u>7</u>	%

Peso Seco Antes Lavagem	<u>1650.0</u>	gr
Peso Seco Após Lavagem	<u>1337.0</u>	gr
Peso Fr. Lavada < 0.075mm	<u>313.0</u>	gr (P1)

Módulo Granulomet. 1.04
G.M. =

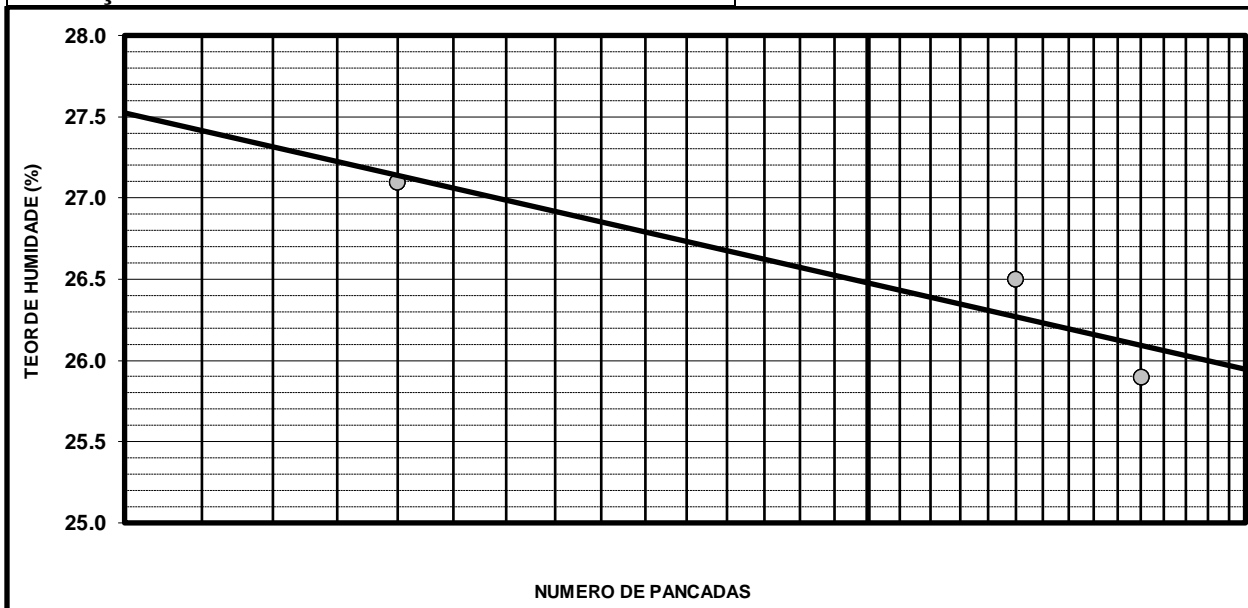
Penneiro mm	Peso Retido	% Retida	% Passada
75.0			
50.0			
37.5			
25.0			
19.0			
13.2			
9.5			
6.7			
4.75			100.0

2.00	0.7	0.0	100.0
1.18	10.0	0.6	99.4
0.600	26.4	1.6	97.8
0.425	347.0	21.0	76.7
0.300	466.9	28.3	48.4
0.150	431.8	26.2	22.3
0.075	42.3	2.6	19.7
Base (P2)	9.9		
(P1)	313.0		
< 0.075	322.9	19.6	
P.Total	1650.0		

Peso Total Pass. 0.075mm =
(P1)+(P2)

4. RESUMO RESULTADOS

Limite de Liquidez	21.2	%
Limite Plasticidade	17.0	%
Indice Plasticidade	4.2	%
Limite Retração	1.0	%



Anexo 6. Resultados das Análises físico-químicas de solo

NºLab	Referência do Cliente			pH _{H2O} (1:2.5)	CE (1:2.5)	Na	K	Ca	Mg
	Código	Prof.	Local de colheita	[-]	[mS/cm]	[meq/100g]	[meq/100]	[meq/100g]	[meq/100g]
437	Marramandjane			7.70	0.556	0.44	0.57	25.60	1.60
438	Conhane			8.17	0.259	0.23	0.21	34.00	1.60
439	Lionde			8.883	0.174	0.18	0.14	7.60	0.80
440	Muianga			8.54	0.293	0.20	0.06	18.80	2.40
441	Nó			7.55	0.012	0.50	0.46	42.80	1.20
442	4º Congresso			8.55	0.183	0.24	0.26	18.80	2.00