



CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS

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

Filipe Moreno Silva Faquini

REGULARIZAÇÃO DE BARRAGEM DE TERRA DE ACORDO COM A PORTARIA NATURATINS Nº 483: estudo de caso da barragem localizada na Fazenda Milão em Palmeirópolis-TO

Palmas-TO

2020

Filipe Moreno Silva Faquini

REGULARIZAÇÃO DE BARRAGEM DE TERRA DE ACORDO COM A PORTARIA
NATURATINS Nº 483: estudo de caso da barragem localizada na Fazenda Milão em
Palmeirópolis-TO

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

Orientador: Prof. Msc. Edivaldo Alves Dos Santos.

Palmas – TO

2020

Filipe Moreno Silva Faquini

REGULARIZAÇÃO DE BARRAGEM DE TERRA DE ACORDO COM A PORTARIA
NATURATINS Nº 483: estudo de caso da barragem localizada na Fazenda Milão em
Palmeirópolis-TO

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

Orientador: Prof. Msc. Edivaldo Alves Dos Santos.

Aprovado em: _____/_____/_____

BANCA EXAMINADORA

Orientador: Edivaldo Alves Dos Santos
Centro universitário Luterano de Palmas – CEULP

Prof: Kenia Parente Lopes Mendonça
Centro universitário Luterano de Palmas –CEULP

Prof: Denis Cardoso Parente
Centro universitário Luterano de Palmas –CEULP

RESUMO

FAQUINI, Filipe Moreno Silva. **REGULARIZAÇÃO DE BARRAGEM DE TERRA DE ACORDO COM A PORTARIA NATURATINS Nº 483, ESTUDO DE CASO DA BARRAGEM LOCALIZADA NA FAZENDA MILÃO PALMEIROPOLIS-TO:** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário Luterano de Palmas, Palmas/TO, 2020.

O presente estudo aborda as diretrizes presentes nas normativas federais e estaduais para o planejamento, projeto, execução e acompanhamento de barragens de terra em rios intermitentes ou perenes. A segurança de Barragens foi estabelecida no Brasil a partir da Lei Federal nº 12.334, de 20 de setembro de 2010, que estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens destinadas à acumulação de água para quaisquer usos. Esta pesquisa aplica a dinâmica de regularização de barragem de terra, à localizada na fazenda Milão no município de Palmeirópolis-To. A regularização compreende desde a fase de anteprojeto das adequações, estudos hidrológicos, readequação dos mecanismos de segurança até o monitoramento, dentro do escopo de atribuições do responsável técnico pelo barramento. Através deste estudo, é possível identificar falhas no planejamento da implantação, na execução do projeto e na segurança da estrutura hidráulica implantada na Fazenda Milão no município de Palmeirópolis-TO. Importante salientar a necessidade de fiscalização do órgão competente, bem como diminuir a negligência dos produtores rurais ao implantar este tipo de estrutura hidráulica sem a busca de um profissional devidamente habilitado para o projeto e execução.

ABSTRACT

FAQUINI, Filipe Moreno Silva. **Earth Dam's regularization according to Naturatins Ordinance number 483, case study of a dam located at Milão's farm in Palmeiropolis - TO:** Course Conclusion Paper (Graduate) - Civil Engineering Course, Centro Universitário Luterano de Palmas (Lutheran University Centre of Palmas) Palmas, Tocantins, 2020.

This study addresses the existing guidelines in federal and state normative for the planning, project, implementation and tracking of earth dams in intermittent and perennial rivers. The dam's security was settled in Brazil since the Federal Law number 12.334 on 09/20/2010, which established the Dam's Security National Policy intended to water accumulation for any uses. This research applies the earth dam's regularization dynamics, based at Milão's farm in Palmeirópolis-TO. This settlement ranges from preliminary draft phase of adequacy, hydrological studies, readjustment of security mechanisms to the monitoring, inside the scope of attributions by the technician responsible for damming. Through this investigation is possible to identify failures in the implementation planning, project execution and hydraulic structure safety implanted at Milão's farm. It is important to point the necessity of a competent organ inspection, as well as to decrease the rural farmers carelessness in the implementation of this type of hydraulic structure without looking for a specific professional.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA	Agência Nacional de Águas
CNARH	Cadastro Nacional de Usuários de Recursos Hídricos
CONFEA	Conselho Federal de Engenharia e Agronomia
CREA	Conselho regional de Engenharia e Agronomia
FS	Fator de Segurança
ISR	Inspeções de Segurança Regulares de Barragem
PNSB	Política Nacional de Segurança de Barragens
PSB	Plano de Segurança de Barragem
SNISB	Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Barragem Apipucos	13
Figura 2 - Taludes a Montante e Jusante	14
Figura 3 - Fator de segurança para estabilidade de taludes	16
Figura 4 - Ciclo da água	21
Figura 5 - Diferença entre enchente e inundação	22
Figura 6 - Determinação da curva numero	26
Figura 7 - Delimitação da bacia hidrográfica	27
Figura 8 - Hidrograma unitário	31
Figura 9 - Método dos Anéis Concêntricos	32
Figura 10 - Lei Darcy	33
Figura 11 - tipos de ensaios in loco	34
Figura 12 - Equipamento do ensaio de Palheta	34
Figura 13 - Tipos de ponteiras (Delft e Begemann)	35
Figura 14 - Equação da tensão de cisalhamento do solo	37
Figura 15 - Distancia da Fazenda Milão ao município de Palmeiropolis-TO	38
Figura 16 - Área do espelho d'água da barragem	39
Figura 17 - Fluxograma	40
Figura 18 - Plataforma Hidroweb	42
Figura 19 - Densidade de vegetação na bacia hidrográfica	47
Figura 20 - Dados para obtenção da curva IDF	49
Figura 21 - Classificação do Tipo de Solo	51
Figura 22 - Amostra de Solo do talude do Barramento	52
Figura 23 - Corpo de prova para ensaio de cisalhamento direto	52
Figura 24 - Realização de ensaio de cisalhamento direto	53
Figura 25 - Representação da estrutura do barramento de terra	54
Figura 26 - Determinação do Fator de Segurança do Talude (Slide CAD View - Bishop Simplified)	55
Figura 27 - Croqui de sugestão de implantação de sifão invertido	56
Figura 28 - Croqui Frontal dos dispositivos hidráulicos	56

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - PRECIPITAÇÕES MAXIMAS DOS MESES DE 1974 A 2020 (mm).....	43
Tabela 2 - MAIORES CHUVAS DE CADA ANO EM MILIMETROS.....	44

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Valores de TR adotados para alguns tipos de obras hidráulicas.....	23
Quadro 2 - Taxa de Escoamento para diferentes coberturas de solo	25
Quadro 3 – Protocolo de pesquisa.....	41

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1	19
Equação 2	20
Equação 3	20
Equação 4	22
Equação 5	23
Equação 6	24
Equação 7	24
Equação 8	27
Equação 9	28
Equação 10	28
Equação 11	29
Equação 12	29
Equação 13	29
Equação 14	29
Equação 15	29
Equação 16	30
Equação 17	30
Equação 18	32
Equação 19	33
Equação 20	33
Equação 21	35
Equação 22	35
Equação 23	35
Equação 24	35
Equação 25	36
Equação 26	36
Equação 27	36
Equação 28	46
Equação 29	46

Equação 30	48
Equação 31	48

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	PROBLEMA DA PESQUISA	11
1.2	HIPÓTESES	11
1.3	OBJETIVOS.....	12
1.3.1	Objetivo Geral	12
1.3.2	Objetivos Específicos	12
1.4	JUSTIFICATIVA.....	12
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	13
2.1	BARRAGEM.....	14
2.1.1	Barragem de aterro	15
2.1.2	Segurança de Barragem	15
2.2	LEI E PORTARIA.....	16
2.2.1	LEI Nº 12.334/2010.....	17
2.2.2	Portaria Naturatins nº 483 de 2017	17
2.2.3	Decreto do Estado do Tocantins nº 2432 de 2005 artigos 6º ao 8º.....	18
2.4.1	Equações de determinação de chuvas.....	22
2.4.1.1	Tempo de Retorno	23
2.4.1.2	Tempo de Concentração	24
2.4.1.3	Taxa de Escoamento Superficial e Taxa de Infiltração	25
2.4.1.4	Curva Numero	25
2.4.2	Bacia Hidrográfica.....	26
2.4.3	Vazão de projeto.....	27
2.4.4	Hidrograma.....	30

3	METODOLOGIA.....	38
3.1	TIPO DE ESTUDO	38
3.2	LOCALIZAÇÃO.....	38
3.3	OBJETO DE ESTUDO	39
3.4	INSTRUMENTOS DE COLETA DE DADOS E ANÁLISE	40
3.5	POSSIVEIS SOLUÇÕES TÉCNICAS PARA O PROBLEMA ATUAL	42
4	RESULTADOS	43
5	CONCLUSÃO.....	57
	REFERENCIAS	58

1 INTRODUÇÃO

Um dos maiores objetivos para a execução e implementação da segurança de barragem, é assegurar que a obra civil não linear, não venha a colapso estrutural, podendo ocasionar danos econômicos, ambientais, sociais, perda de vidas humanas.

Para garantir uma maior vida útil em um barramento é importante desenvolver estudo prévio, seguir todos os requisitos contidos em normas legais relacionadas a obras hidráulicas, apresentando como pré-requisitos a realização de sondagens do solo, topografia do terreno, estudos hidrológicos no micro bacia hidrográfica onde está locada a estrutura hidráulica, juntamente com o conhecimento do perfil físico do solo.

As barragens de terra em curso d'água intermitente, neste caso em operação e fora dos parâmetros exigidos pelo órgão de licenciamento e de fiscalização do Estado do Tocantins, deverá passar por um enquadramento seguindo a portaria Naturatins nº483, que trata da regularização de barragens de acordo com o que preconiza o órgão.

A referida irregularidade perante o que é exigido pelo órgão licenciador e fiscalizador é a ausência de documentações de outorga de uso de água e laudo de um responsável técnico que assegura os riscos ambientais e estrutural da obra hídrica presente na propriedade, para que pôr fim a mesma venha a está apta a operação com o deferimento da licença de operação.

1.1 PROBLEMA DA PESQUISA

Regularização de um Barramento de terra em um curso d'água na fazenda Milão no município de Palmeirópolis-TO, mediante solicitação de regularização e direito de uso de água, do órgão fiscalizador e licenciador do Estado do Tocantins.

1.2 HIPÓTESES

- Regularização mediante o direito de uso de recursos hídricos através do instrumento de gestão denominado outorga;
- Garantir a vazão mínima de referência, para corpos d'água intermitentes;
- Adequações físicas na estrutura e dispositivos visando a regularização da barragem em estudo caso seja necessário.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

Regularização de uma barragem de terra em operação na fazenda Milão no município de Palmeiropolis-TO, conforme a portaria nº 483 do Instituto Natureza do Tocantins.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Atender à solicitação de regularização através da promoção da outorga de direito de uso de recursos hídricos para barramento;
- Realizar um estudo da bacia hidrográfica do barramento de forma que esteja de acordo com a portaria Naturatins nº 483;
- Implantar os requisitos exigidos pelo Instituto natureza do Tocantins;

1.4 JUSTIFICATIVA

A relevância do tema em questão, se refere a defesa civil e ambiental em situações de comando e controle dentro da segurança de barragens, uma vez que a ausência vem causando inúmeros desastres com prejuízos econômicos, ambientais e irreparáveis perdas de vidas humanas. A existência de barragens de terra irregulares no estado do Tocantins conforme o Naturatins, trazem um grande risco a ocupações humanas existentes a jusante desses barramentos.

Necessário se faz a implementação da portaria nº 483 do Instituto Natureza do Tocantins, para que os barramentos estejam regulares e garantam a segurança.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

A água na vida humana sempre foi um fator primordial, pois na história da humanidade está evidente que as civilizações antigas sentiram a necessidade do uso dos recursos hídricos no seu dia a dia para melhor qualidade de vida. Quando se analisa a história desde o começo da existência do homem que se têm registros, é possível observar que todas as civilizações como Babilônia, Egito e Pérsia sempre procuraram se instalar em lugares que tinham uma vasta quantidade de água e de fácil acesso a ela, para seus usos diários como banho, hidratação do corpo, criação de animais e irrigação de lavouras (JANSEN 1983).

Desde o começo o homem viu a importância do uso da água e por esse motivo se teve a necessidade da engenharia em armazenamento de um grande volume de água acumulada em um só lugar e desde então se obteve o que hoje conhecemos como barragem.

Segundo Jansen (1983) nos registros encontrados até o presente momento a primeira barragem que teve sua construção bem-sucedida que se tem na história foi construída no Egito antigo, onde os construtores barraram o Rio Nilo entre os anos 5.700 e 2.700 a.C.

No Brasil a primeira barragem construída fica localizada em Recife capital do Pernambuco, denominada como barragem Apipucos nome de origem indígena tupi que significa onde os caminhos se encontram e sua construção é datada no final do século XVI. (JANSEN 1983).

Figura 1- Barragem Apipucos



Fonte: Google Maps (2020)

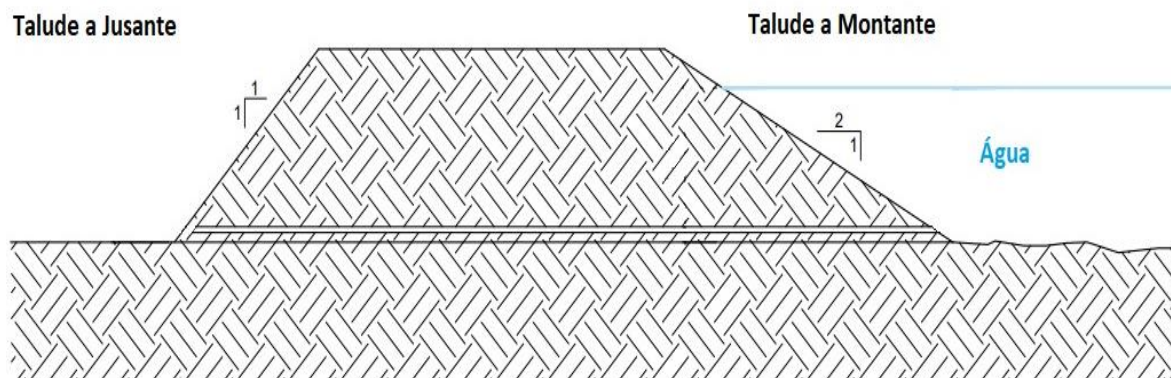
2.1 BARRAGEM

São estruturas instaladas em meio de um curso de água perene e ou intermitente, as barragens são feitas com objetivo de represar uma quantidade determinada de água (CAMARERO, 2016). Estruturas essas que tem como fins a contenção ou acumulação de substâncias líquidas, onde seu objetivo concentra-se em diversos tipos de finalidade, sendo esses: Irrigação para criação de rebanho animal e plantações, criação e produção de alevinos, controle de vazão de um rio, abastecimento de uma cidade e entre outros.

Para Camarero (2016) existem tipos diferentes de barragens nas quais são determinadas de acordo com a necessidade e finalidade da mesma, tendo como fator determinante características geológicas e topográficas e influência do clima local.

A estrutura do maciço de um barramento é formada por dois taludes que são superfícies construídas em inclinação sendo um a montante que estará em contato com a água do reservatório e outro a jusante que estará pelo lado de fora do reservatório.

Figura 2 - Taludes a Montante e Jusante



Fonte: - Elaborado pelo Autor (2020)

No todo da junção dos taludes de montante e jusante encontra-se uma superfície plana denominada de crista onde pode ser usada como meio de tráfego de pessoas, animais e veículos e possibilita e facilita as inspeções e vistorias no barramento (CAMARERO, 2016).

2.1.1 Barragem de aterro

Barragens construídas de solos compactados e ou o conjunto de terra e blocos de rocha ou de concreto chamados de enrocamento, onde são encaixados uns sobre os outros de tal forma que essa estrutura venha e servir de peso para a fundação do barramento (SNISB, 2019).

A escolha de construir um barramento constituído de aterro se dá pelo fator econômico, por ser uma construção de baixo custo de implantação, pois geralmente já existe a presença da matéria prima próximo ao local da construção em questão, pois a execução do aterro é rápido em comparação aos outros tipos de barragens, como por exemplo, as barragens de concreto armado.

Uma barragem de aterro é constituído por taludes de montante e jusante, formando assim um maciço de terra onde se faz necessário a instalação de alguns mecanismos tais como o pé de jusante que faz a ligação do talude de jusante ao solo natural existente no local do barramento, um conjunto de sistemas extravasores como vertedouros nas laterais do maciço e descarga de fundo para controlar o nível de água no reservatório durante as cheias no período de precipitações pluviométricas e garantir a vazão do rio onde se encontra o barramento (SNISB, 2019).

2.1.2 Segurança de Barragem

Jansen (1983) traz a reflexão de que o risco de uma série de falhas na execução de barragens é uma consequência que a humanidade terá que carregar para toda a eternidade. Mesmo com a criação de Leis Federais, Estaduais e Municipais e de planos e programas referentes à segurança de Barragens é impossível impedirem que ocorram falhas desde a execução até a utilização da obra, pois nem todas as falhas podem ser evitadas.

Para obter a segurança de uma barragem é essencial que desde a fase de projeto seja baseada em normas e leis vigentes no determinado local, seguindo todas as recomendações descritas e adicionando os critérios exigidos pelos órgãos regularizadores como CREA, de fiscalização e controle do estado competente.

Barragens já executadas também precisam além das manutenções periódicas as reavaliações periodicamente conforme os órgãos fiscalizadores competentes, pois no ato de entrega da obra em questão as exigências podem não ser mais as mesmas nos dias atuais,

tornando assim a obra não segura e com isso garantindo a vida útil da barragem (ZUFFO, 2005).

As barragens podem conter falhas de várias maneiras e são conhecidas em todo o mundo, barragens de concreto de gravidade, por exemplo, são geralmente suscetíveis a instabilidade. As barragens construídas em forma de arco geralmente têm o seu rompimento brusco, isso quando suas fundações existem falhas, mas isto não tira o mérito desse tipo de construção ser conhecida como estruturas extremamente fortes. De forma lenta as falhas em barragens de solo podem ocorrer, mas são de certa forma mais susceptíveis a erosões, isto se comparar com as estruturas construídas em alvenaria (ZUFFO, 2005).

Figura 3 - Fator de segurança para estabilidade de taludes

Grau de segurança necessário ao local	Métodos baseados no equilíbrio-limite	Tensão-deformação
	Padrão: fator de segurança mínimo ^(A)	Padrão: deslocamento máximo
alto	1,50	Os deslocamentos máximos devem ser compatíveis com o grau de segurança necessário ao local, à sensibilidade de construções vizinhas e à geometria do talude. Os valores assim calculados devem ser justificados.
médio	1,30	
baixo	1,15	

Fonte: - NBR-11.682 (2009)

2.2 LEI E PORTARIA

Lei é uma norma escrita proveniente do poder competente, que se refere a um pronunciamento solene do direito constitucional. Como um processo legislativo, a lei deve ser compreendida no seu sentido amplo, envolvendo a constituição Federal, Leis complementares, leis ordinárias, leis delegadas, emendas constitucionais, decretos legislativos e medidas provisórias (LYRA FILHO, 1982).

Portaria é um documento assinado por um chefe de estado, ou seja, um governador. Esse ato jurídico originado do poder executivo, contem ordens e instruções referente a aplicação de leis, regulamentos e normas sobre a execução de serviços (LYRA FILHO, 1982).

2.2.1 LEI Nº 12.334/2010

No Brasil a lei nacional que se faz presente a obrigatoriedade da segurança de todos os tipos de uso dos barramentos é a Lei nº 12.334 do ano de 2010, e nela foi estabelecida a Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB) e a criação do Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (SNISB), visando diminuir os riscos de colapsos por erros de projetos e má execução das obras.

De acordo com Lei nº 12.334/2010, a sua aplicação é válida para todas as barragens que se enquadrem em pelo menos uma das quatro características que torna a barragem de alto risco sendo elas, a altura do maciço desde a sua base até a sua crista que for maior ou igual a 15 metros, capacidade total de armazenamento de água do reservatório for superior ou igual a três milhões de metros cúbicos, os reservatórios que comportam resíduos perigosos com rejeitos de mineração e as barragens que enquadrem no categoria de dano potencial associado, médio ou alto nas áreas econômicas, ambientais, sociais e perdas de vidas humanas.

A aplicação do (PNSB) é regulamentar todas as ações de segurança que serão adotadas nas etapas de planejamento, projeto, execução, primeiro enchimento e primeiro vertimento, operação, desativação e de uso de barragens. É também pertinente a essa lei a ação de promover o acompanhamento e o monitoramento das ações de segurança para os responsáveis pelas barragens Lei nº 12.334/2010.

Fiscalizar os barramentos é umas das ações mais importantes que o PNSB estabelece, pois, a fiscalização é o que pode garantir que nas etapas de projeto e execução foi implementado todas as recomendações e exigências apresentadas na criação da lei que estabelece a política nacional de segurança de barragens.

2.2.2 Portaria Naturatins nº 483 de 2017

Com a criação da Lei 12.334 no ano de 2010 onde foi estabelecida a Política Nacional de Segurança de Barragem e o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens, o órgão executor da política estadual de meio ambiente e de recursos hídricos competente do estado do Tocantins, publicou a Portaria Naturatins nº 483 em 18 de dezembro de 2017, que será de sua atribuição fiscalizar as barragens para qual foi dado o direito de uso dos recursos hídricos Portaria Naturatins nº 483/2017.

O Plano de Segurança de Barragem (PSB) definido na portaria Naturatins nº 483 consiste em seis etapas de conjuntos de documentos sendo eles, informações gerais, documentações técnicas do empreendimento, planos e procedimento, registros e controles, revisões periódicas de segurança de barragem e o plano de ação de emergência, quando for exigido pelo Naturatins.

Segundo a Portaria Naturatins nº 483/2017, as Inspeções de Segurança Regulares (ISR) e Inspeções de Segurança Especial (ISE), devem ser anexadas no PSB, como os controles que dão a segurança do barramento. E que a classificação do Nível de Perigo da Anomalia (NPA) e bem como o Nível de Perigo Global da Barragem (NPGB), deve constar no relatório da ISR.

2.2.3 Decreto do Estado do Tocantins nº 2432 de 2005 artigos 6º ao 8º

Art. 6º. A vazão de referência para outorga quando:

I - não houver barramento será calculada com base nas informações hidrológicas da bacia hidrográfica, para uma vazão de até 90% de permanência, com valores diários, enquanto não for aprovado pelo Plano de Bacia, ou este não apresentar definições sobre a vazão de referência para outorga;

II - houver barramento será calculada por meio de balanço hídrico do reservatório, com uma garantia de 90% de atendimento das demandas definidas mensalmente, enquanto não for aprovado o Plano de Bacia e este não apresentar definições de valores diferentes desta proposição.

Art. 7º Os somatórios das vazões a serem outorgadas deverão seguir os seguintes limites para captação:

I - a fio d'água, até 75% da vazão de referência do manancial;

II - para captação em reservatório de barragem de regularização, até 90% da vazão de referência do manancial.

§ 1º Nos casos de mananciais intermitentes, os limites poderão chegar a até 95% dos valores de referência, definidos para cada mês em que haja escoamento nos rios.

§ 2º Havendo barramento, a vazão de descarga mínima a ser mantida escoando para jusante, por descarga de fundo ou por qualquer outro dispositivo que não inclua bombas de recalque, será de 25% da vazão de referência para captação a fio d'água.

§ 3º Nenhum usuário, individualmente, receberá autorização acima de 25% da vazão de referência, de um dado manancial, quando a captação for a fio d'água.

Art. 8º Em casos especiais, não havendo o respectivo Plano de Bacia aprovado, poderão ser fixados valores diferentes de vazões de referência para outorga, mediante Portaria do NATURATINS, desde que solicitado pelo Comitê de Bacia e aprovado pelo CONSELHO ESTADUAL DE RECURSOS HIDRÍCOS. ”

2.3 TRATAMENTOS DE DADOS

Segundo Pinheiro et al. (2009) a análise de dados é o estudo que permite ver os comportamentos médios e discrepantes, comparar esses comportamentos e revelar a tendência dos dados estudados.

A variável quantitativa continua é quando seus valores são expressos por números reais e que seguem uma escala continua de medição (PINHEIRO et al., 2009).

De acordo com Pinheiro et al. (2009), para uma variável quantitativa a sua medida de centralidade é um valor que fica entorno onde situam os valores da variável estudada. As principais medidas de centralidade utilizadas são:

- Média Aritmética

Equação 1

$$x = \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_n}{n}$$

Onde:

X é a média aritmética;

X_1 , X_2 e X_n são os valores de cada amostra;

n é a quantidade de amostras.

- Mediana

Deve-se primeiramente dispor os números de forma decrescente, $X_1 \leq X_2 \leq \dots \leq X_n$ e então temos que a mediana será obtida com dois critérios, valor de posição central caso a

quantidade de amostras for de número ímpar e se a soma das amostras forem de número par a mediana será a média dos dois valores centrais das amostras (PINHEIRO et al., 2009).

- Moda

É sempre o valor que mais se repete entre todas as amostras.

Com a escolha do valor que representa melhor a medida central das amostras deve-se realizar o cálculo do desvio padrão (PINHEIRO et al., 2009).

Equação 2

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - X)^2}{n - 1}}$$

- Frequência

É o que indica o tempo de ocorrência de um determinado evento com dados numéricos (PINHEIRO et al., 2009).

Equação 3

$$F = \frac{m}{n + 1}$$

2.4 ESTUDO HIDROLÓGICO

O clima predominante no Estado do Tocantins é o clima tropical com inverno seco, de acordo com a classificação de *Köppen-Geiger*. Este clima se caracteriza por apresentar uma estação chuvosa no verão, de novembro a abril, e nítida estação seca no inverno, de maio a outubro (julho é o mês mais seco). A temperatura média do mês mais frio é superior a 18°C. As precipitações são superiores a 750 mm anuais, atingindo 1800 mm. O clima do município possui a nomenclatura C2wA'a', caracterizado por ser um clima úmido e subúmido com moderada deficiência hídrica no inverno, evapotranspiração potencial média anual de 1.500 mm, distribuindo-se no verão em torno de 420 mm ao longo dos três meses consecutivos com temperatura mais elevada (PEREIRA et al., 2008).

Figura 4 - Ciclo da água



Fonte: ALMEIDA et al., (2017)

Segundo Almeida et al. (2017) a grande preocupação por se realizar um estudo hidrológico é evitar as enchentes e inundações, que ocorrem quando um rio, ribeirão, riacho e qualquer outro tipo de corpo hídrico superficial recebe uma grande quantidade de chuva em um curto espaço de tempo, acarretando assim perigos preocupantes para todos.

Enchente é quando há uma precipitação de chuva muito alta, passando do nível normal além do que o corpo hídrico superficial pode comportar em seu espaço, fazendo com que o curso da água fique turbulento e causando danos como erosões. Já inundação é quando o volume de água do corpo hídrico ultrapassa seu limite e transborda e com esse volume muito intenso e durante um longo tempo de duração, acaba afetando assim o tempo de infiltração do solo onde ocasiona o retardamento do recuo da água para o seu nível normal até que o solo não esteja totalmente saturado (ALMEIDA et al., 2017).

Figura 5 - Diferença entre enchente e inundação



Fonte: ALMEIDA et al., (2017)

2.4.1 Equações de determinação de chuvas

Segundo Novaes (2000), uma região onde não a uma duração de chuvas intensas, deve usar uma duração de chuva de 5 minutos a 4 horas e aplicar na seguinte equação.

Equação 4

$$\frac{P}{P1D} = 0,022 \times T^{\circ} + 0,0068 \times T^{\circ} \times \ln(t)$$

Onde:

P é a precipitação intensa em milímetros;

P1D é a precipitação intensa de um dia;

T° é a temperatura média anual do local em °C;

t é o tempo de duração da chuva.

De acordo com Silva et al. (2003) em sua revista Engenharia na Agricultura a região mais próxima estudada de onde o objeto de estudo deste projeto de pesquisa, foi o município

de Alvorada do Tocantins cerca de 100 km da fazenda Milão, onde os autores obtiveram a seguinte equação com base na equação geral:

Equação 5

$$imax = \frac{9989,560 * Tr^{0,211}}{(t + 56,638)^{1,087}}$$

Onde:

i = intensidade máxima média de precipitação pluvial, mm h^{-1} ;

T = período de retorno, anos;

t = duração da precipitação, minutos

2.4.1.1 Tempo de Retorno

O tempo de retorno está ligado ao risco que uma obra falhe e traga danos para a sociedade, o TR também pode ser associado ao custo da obra (ALMEIDA et al., 2017).

Quadro 1 - Valores de TR adotados para alguns tipos de obras hidráulicas

Pequenos canais sem endicamento	Rural	5
	Urbano	10
Grandes canais sem endicamento	Rural	10
	Urbano	25
Pequenos canais com endicamento	Rural	10
	Urbano	50
Grandes canais com endicamento	Rural	50
	Urbano	100
Pequenos canais para drenagem urbana		5 a 10
Pontes em rodovias importantes		50 a 100
Pontes em rodovias comuns		25
Bueiros em rodovias importantes		25
Bueiros em rodovias comuns		5 a 10
Bocas de lobo		1 a 2
Vertedor de barragens importantes		10.000

Fonte: Adaptado por ALMEIDA et al., (2017)

2.4.1.2 Tempo de Concentração

Para Almeida et al. (2017) o tempo de concentração é algo que está ligado a algumas características de uma bacia hidrográfica sendo:

- Área total da bacia;
- Comprimento talvegue;;
- Declividade do talvegue;
- Desnível da cota mais alta;
- Seção de controle.

Na atualidade existem vários métodos capazes de estimar o TC, mas cada um resulta em diferentes respostas pois são métodos empíricos criados através de bacias distintas. Dois dos métodos mais utilizados são os de Kirpich e o de Doodge (ALMEIDA et al., 2017).

- Equação de Kirpich:

Equação 6

$$Tc = 57 \times \left(\frac{L^3}{H} \right)^{0,385}$$

Onde:

Tc = tempo de concentração, em minutos.

L = comprimento do talvegue principal, em quilômetro.

H = desnível entre a parte mais elevada e a seção de controle, em metro.

- Equação de Doodge:

Equação 7

$$Tc = 21,88 \times A^{0,41} \times S^{-0,17}$$

Onde:

Tc = tempo de concentração, em minutos.

A = área da bacia, em quilometro².

S = declividade média do talvegue, em metro por metro.

2.4.1.3 Taxa de Escoamento Superficial e Taxa de Infiltração

São os processos que estão ligados ao deslocamento das precipitações na superfície do solo, onde se tornam importantes para o dimensionamento de obras hidráulicas de maneira que comportem todo o volume de chuva escoado pela superfície. Esses dois estudos levam em consideração ao tipo de cobertura, saturação, declividade do solo e entre outros parâmetros (ALMEIDA et al., 2017).

Quadro 2 - Taxa de Escoamento para diferentes coberturas de solo

Zonas	Taxa de escoamento
De edificação com muitas superfícies livres: partes residenciais tipo cidade-jardim, ruas macadamizadas ou pavimentadas.	0,25 a 0,50
De subúrbios com alguma edificação: partes de arredores com pequena densidade de construções.	0,10 a 0,25
De matas, parques e campos de esporte: partes rurais, áreas verdes, superfícies arborizadas, parques e campos de esporte sem pavimentação.	0,05 a 0,20

Fonte: Adaptado por ALMEIDA et al., (2017)

2.4.1.4 Curva Numero

Conforme Porto (1995), os valores de CN são em função do tipo de cobertura do solo relacionado com o tipo hidrológico do solo, que através deste número é possível chegar a taxa de infiltração e escoamento superficial representados em tabela.

Figura 6 - Determinação da curva numero

Uso do solo/Tratamento/Condições hidrológicas		Grupo hidrológico de solos			
		A	B	C	D
Uso residencial					
Tamanho médio do lote	% Impermeável				
até 500 m ²	65	77	85	90	92
1000 m ²	38	61	75	83	87
1500 m ²	30	57	72	81	86
Estacionamentos pavimentados, telhados		98	98	98	98
Ruas e estradas:					
pavimentadas, com guias e drenagens		98	98	98	98
com cascalho		76	85	89	91
de terra		72	82	87	89
Áreas comerciais (85% de impermeabilização)		89	92	94	95
Distritos industriais (72% de impermeabilização)		81	88	91	93
Espaços abertos, parques, jardins:					
boas condições, cobertura de grama > 75%		39	61	74	80
condições médias, cobertura de grama > 50%		49	69	79	84
Terreno preparado para plantio, descoberto					
plantio em linha reta		77	86	91	94
Culturas em fileira					
linha reta	condições ruins	72	81	88	91
	condições boas	67	78	85	89
curva de nível	condições ruins	70	79	84	88
	condições boas	65	75	82	86
Cultura de grãos					
linha reta	condições ruins	65	76	84	88
	condições boas	63	75	83	87
curva de nível	condições ruins	63	74	82	85
	condições boas	61	73	81	84
Pasto					
linha reta	condições ruins	68	79	86	89
	condições médias	49	69	79	84
	condições boas	39	61	74	80
curva de nível	condições ruins	47	67	81	88
	condições médias	25	59	75	83
	condições boas	6	35	70	79
Campos		30	58	71	78
Florestas					
	condições ruins	45	66	77	83
	condições médias	36	60	73	79
	condições boas	25	55	70	77

Fonte: Porto (1995).

2.4.2 Bacia Hidrográfica

Bacia hidrográfica é uma área de captação natural de chuva que por meios de diferentes níveis da superfície levam a água a escoar por um único local de saída que sempre será o ponto mais baixo da bacia. O divisor de uma bacia pode ser tanto pela topografia da superfície em questão ou por lençóis freáticos que por se encontrarem em constante movimentação não são utilizados (ALMEIDA et al., 2017).

Para iniciar a demarcação de uma bacia se faz necessário uma boa base cartográfica da região em que se pretende construir a obra hidráulica, com um mapa cartográfico em mãos o próximo passo é a definição do ponto exutório da obra, após isto é preciso demarcar os vales que servem de curso d'água que se encontram no ponto exutório determinado, e assim o passo a seguir e pontuar os morros presentes na área estudada e liga-los formando um polígono é possível obter a área da bacia hidrográfica da obra jogando os dados em programas como CAD e QGIS (ALMEIDA et al., 2017).

Figura 7 - Delimitação da bacia hidrográfica



Fonte: ALMEIDA et al., (2017)

2.4.3 Vazão de projeto

De acordo com Almeida et al. (2017), vazão de projeto é a vazão máxima que a obra pode escoar e a importância da obtenção desse dado é necessário para controle do escoamento superficial e reservação da água.

Métodos para a determinação da vazão de projeto são divididas em dois tipos de ocasiões, quando existe dados de estação pluviométrica próximo ao local e então apenas realiza-se o tratamento dos dados e quando não existem os dados, há então três métodos distintos (ALMEIDA et al., 2017).

Para bacias com áreas menores que 5 Km² (quilômetros quadrados) se usa o método racional.

Equação 8

$$Q = \frac{C \times Imáx \times A}{360}$$

Onde:

Q = vazão em metros cúbicos por segundo.

C = coeficiente de escoamento superficial (adimensional).

Imáx = intensidade da chuva em milímetros por hora.

A = área da bacia hidrográfica em hectare.

Método I-Pai-Wu, é utilizado em bacias com áreas maiores que 5 quilômetros e menores que 30 quilômetros quadrados.

Equação 9

$$Q = 0,278 \times Cm \times Im \times A^{0,9} \times K$$

Onde:

Q = vazão em metros cúbicos por segundo.

Imáx = intensidade da chuva em milímetros por hora.

A = área da bacia hidrográfica em quilômetros quadrados.

K = coeficiente de distribuição espacial da chuva.

Cm = coeficiente de escoamento superficial modificado, definido pela seguinte equação:

Equação 10

$$Cm = \frac{2}{1 + \frac{L}{\frac{2A^{0,5}}{\pi}}} \times \frac{C}{2 + \frac{L}{\frac{2A^{0,5}}{\pi}}}$$

Onde:

L = comprimento do talvegue, em quilômetros.

C = coeficiente de escoamento superficial (adimensional).

A = área da bacia hidrográfica em quilômetros quadrados.

Soil Conservation Service – SCS, é um dos métodos mais utilizados para o cálculo de escoamento superficial das chuvas e consiste na proporção da intensidade das precipitações, no princípio de sobrepor e somar duas chuvas unitárias uma após a outra, através dos seus hidrogramas unitários e pela definição de que os escoamentos gerados pelas precipitações de intensidades diferentes e de mesma duração de tempo sem levar em consideração aos volumes (ALMEIDA et al., 2017).

Para Chow et al. (1988), as equações para determinação dos parâmetros como o Tp, Ta, Tr, Tb, Qp e Pe são:

- Tempo de pico – T_p

É o tempo entre o centro de massa da precipitação e o pico de vazão máxima.

Equação 11

$$T_p = 0,6 \times T_c$$

- Tempo de ascensão – T_a

É o tempo do início da chuva até a soma maior intensidade.

Equação 12

$$T_a = T_p + \frac{D}{2}$$

Onde:

D é o tempo de duração da chuva efetiva unitária.

- Tempo de recessão – T_r

Tempo que a vazão leva para baixar a o ponto onde acaba o escoamento superficial.

Equação 13

$$T_r = 1,67 \times T_a$$

- Tempo de base – T_b

É o tempo do início da chuva até o final do tempo que o curso d'água leva as condições normais.

Equação 14

$$T_b = T_a + (1,67 \times T_a)$$

- Vazão de pico – Q_p

Vazão de pico do hidrograma unitário em metros cúbicos por segundo.

Equação 15

$$Q_p = \frac{0,208A}{0,6T_c + \frac{D}{2}}$$

Onde:

A e a área da bacia em quilômetros quadrados.

D é o tempo de duração da chuva efetiva unitária.

- Precipitação efetiva

Equação 16

$$Pe = \left(\frac{((P - Ia)^2)}{(P + 0,8xS)} \right)$$

Onde:

Pe é a chuva efetiva em milímetros.

P é a chuva de projeto da bacia, correspondente à duração para o tempo de recorrência (TR), em milímetros.

Ia são as perdas iniciais referente a área da bacia.

S definido pela a curva número, definido pelo complexo solo-vegetação.

- Vazão de Projeto

Equação 17

$$Q = \frac{Pe \times A}{Tc}$$

Onde:

Q e a Vazão de Projeto

Pe é a chuva efetiva em metros

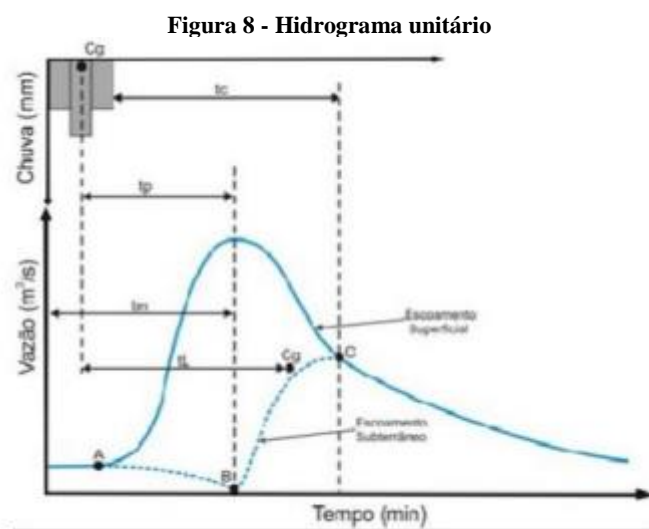
A e a área da bacia em metros quadrados

Tc e o tempo de concentração da bacia em segundos.

2.4.4 Hidrograma

É uma representação gráfica onde relaciona a vazão de uma seção de curso de água ao um período longo. A distribuição da vazão ao longo do tempo é o resultado da interação de todos os componentes do ciclo hidrológico, entre a ocorrência da precipitação e a vazão na

bacia hidrográfica. O comportamento típico de um hidrograma de uma bacia é apresentado na figura abaixo.



Fonte: FINOTTI. et. al. 2009

Para caracterizar o hidrograma de uma bacia são utilizados os seguintes componentes (TUCCI, 2004, p. 394):

- Tempo de retardo (t_l): é definido como o intervalo de tempo entre o centro de massa da precipitação e o centro de gravidade do hidrograma;
- Tempo de pico (t_p): é definido como intervalo de tempo entre o centro de massa da precipitação e o pico de vazão máxima;
- Tempo de concentração (t_c): é o tempo necessário para a água precipitada ir do ponto mais distante da bacia até a seção avaliada. Esse é o tempo definido também como o tempo entre o fim da precipitação e ponto de inflexão do hidrograma;
- Tempo de recessão (t_e): é o tempo necessário para a vazão baixar até o Ponto C quando acaba o escoamento superficial.

2.5 ESTUDO GEOTÉCNICO

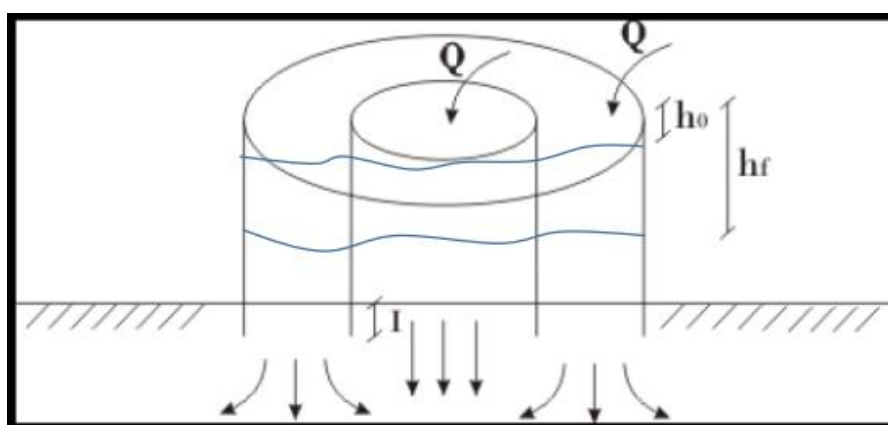
É o estudo através de ensaios in loco e em laboratórios que permitem a obtenção dos parâmetros do solo, como a resistência de cisalhamento, ângulo de atrito, coesão, peso específico, coeficiente de permeabilidade, coeficiente de empuxo e repouso e o módulo de

deformabilidade, que permitem o dimensionamento correto de obras de terra (MASSAD, 2010).

2.5.1 Método dos Anéis Concêntricos

Para Salles (2016), o método é muito utilizado para determinar a condutividade hidráulica do solo e seu experimento consiste em dois anéis cilíndricos colocados e forma concêntrica.

Figura 9 - Método dos Anéis Concêntricos



Fonte: Salles (2016)

Equação para determinação de infiltração:

Equação 18

$$k_v = u \times \frac{I}{\Delta t} \times \ln \frac{h_0}{h}$$

Onde:

k_v é a condutividade hidráulica vertical em metros por segundo;

I é a profundidade cravada no solo em milímetros;

Δt é o tempo de duração do ensaio em minutos;

u é 1/60.000 que significa o fator de conversão de mm/min para m/s

h_0 é a carga hidráulica inicial em milímetros;

h é a carga hidráulica final em milímetros;

2.5.2 Lei de Darcy

De acordo com Massad (2010), é o estudo do movimento de água por dentro do solo, entre um ponto de cota alta a um ponto de cota inferior, ocasionando uma diferença de carga expressa pela equação:

Equação 19

$$\Delta H = H_A - H_B$$

Onde que a carga total H é definida por:

Equação 20

$$H = z + \frac{u}{\gamma_0}$$

Onde:

Z é a carga altimétrica;

$\frac{u}{\gamma_0}$ é a carga piezométrica.

Relação desenvolvida por Darcy após a aplicação do seu experimento com permeâmetro (MASSAD, 2010).

Figura 10 - Lei Darcy

○ Lei de Darcy

$$Q = k \frac{h}{L} A$$

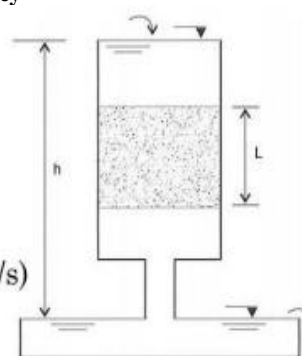
Q = vazão (m³/s)

K = coeficiente de permeabilidade (m/s)

h = carga hidráulica que dissipa na percolação (m)

L = distância a percorrer (m)

A = área (m²)



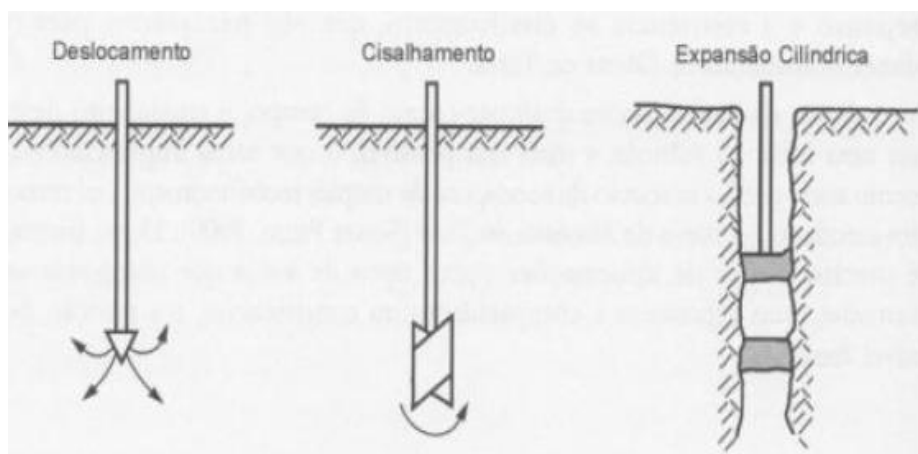
Fonte: Salles (2016)

2.5.3 Ensaios in loco para cisalhamento

Segundo Massad (2010), os ensaios in loco podem ser usados de duas formas, uma que consiste em determinar de forma direta certos parâmetros por correlações empíricas dos

resultados dos ensaios e a segunda forma é a construção de modelos matemáticos mais próximo que possa chegar dos resultados físicos dos ensaios.

Figura 11 - tipos de ensaios in loco



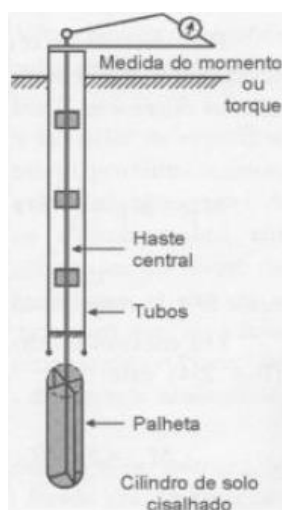
Fonte: Massad (2010)

A figura 5 mostra três tipos de ensaios in loco sendo, o penetrométrico, de palheta e o pressiométrico onde nós três o solo e forçado a romper de modos diferentes (MASSAD, 2010).

- Ensaio de Palheta

Permite determinar a resistência da coesão do solo através dos valores do Torque-Ângulo da rotação das palhetas até a ruptura por cisalhamento do solo.

Figura 12 - Equipamento do ensaio de Palheta



Fonte: Massad (2010)

Equação de determinação do torque da haste da palheta:

Equação 21

$$T = ML + MT + MB$$

Onde:

ML, MT e MB são os momentos desde a base até o topo da palheta.

Equação 22

$$MT = MB = \int_0^R c \times r \times 2\pi \times r \times dr = 2\pi \int_0^R c \times r^2 \times dr = \left(\frac{\pi \times D^2}{4} \times c \right) \times \frac{D}{3}$$

Onde:

D e r são o diâmetro e o raio da palheta.

Equação 23

$$ML = 2\pi \times R \times H \times c \times R = (\pi \times D \times H \times c) \times \frac{D}{2}$$

Onde:

H e a altura total da palheta.

Equação 24

$$c = \frac{6}{7} \times \frac{T}{\pi \times D^3}$$

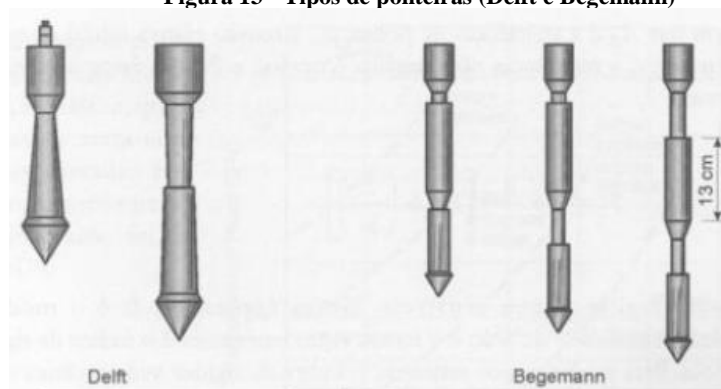
Onde:

c é a coesão do solo em KPa.

- Ensaio de Cone

É a cravação de uma haste por esforço estático e de velocidade constante a dois centímetros por segundo (MASSAD, 2010).

Figura 13 - Tipos de ponteiros (Delft e Begemann)



Fonte: Massad (2010)

De acordo com Massad (2010), as teorias de cavidade cilíndrica supõem a ausência do cone na ponta da haste e considera a superfície plana e expressas por:

Equação 25

$$R_p = P_0 + N_c \times c$$

Onde:

R_p é a resistência da ponta;

P_0 é tensão efetiva inicial;

c é a coesão;

N_c Fator de carga dado por:

Equação 26

$$N_c = 1 + \frac{4}{3} \times \left[1 + \ln\left(\frac{E}{3c}\right) \right]$$

Onde:

E é o modulo de deformabilidade do solo.

Equação 27

$$c = \frac{R_p - P_0}{N_c}$$

2.5.4 Ensaio de cisalhamento direto

O objetivo deste ensaio é determinar a resistência de cisalhamento e baseia-se em submeter uma amostra a uma tensão normal fixa e logo após aplicar uma tensão cisalhante crescente, através de uma superfície pré-determinada, até que a ruptura por cisalhamento do solo aconteça. Com isso, se obtém uma correlação entre a tensão cisalhante na ruptura e a tensão normal, (MASSAD, 2010).

Segundo Massad (2010), o ensaio de cisalhamento direto garante, aos projetistas, a determinação dos parâmetros geotécnicos como coesão e ângulo de atrito, dados estes indispensáveis para subsidiar estudos geotécnicos, esses parâmetros servem para calcular o Fator de Segurança (FS) de taludes na análise de estabilidade.

Figura 14 - Equação da tensão de cisalhamento do solo

$$\tau = c + (\sigma - u) \operatorname{tg} \phi$$

onde:

τ - resistência ao cisalhamento

c - coesão

σ - tensão normal ao plano de cisalhamento

u - pressão neutra ou pressão nos poros

ϕ - ângulo de atrito interno

Fonte: Massad (2010)

Dodagoudar e Venkatachalam (2000) trazem uma metodologia de análise de estabilidade de taludes, onde considerando coesão, ângulo de atrito e peso específico, que são parâmetros geotécnicos de entrada com incertezas envolvidas como números fuzzy trapezoidais, na forma de intervalos para cada nível de pertinência, e determinando o fator de segurança através do método de Bishop Simplificado (1955). Esta metodologia permiti avaliar a probabilidade de um talude apresentar falhas maiores que a probabilidade de falha da superfície de ruptura crítica.

3 METODOLOGIA

Este capítulo classifica o tipo de estudo, delimitando o escopo e as etapas aplicadas e adequadas ao desenvolvimento deste trabalho. Assim como, detalha suas etapas e o protocolo para garantir a entrega dos objetivos estabelecidos.

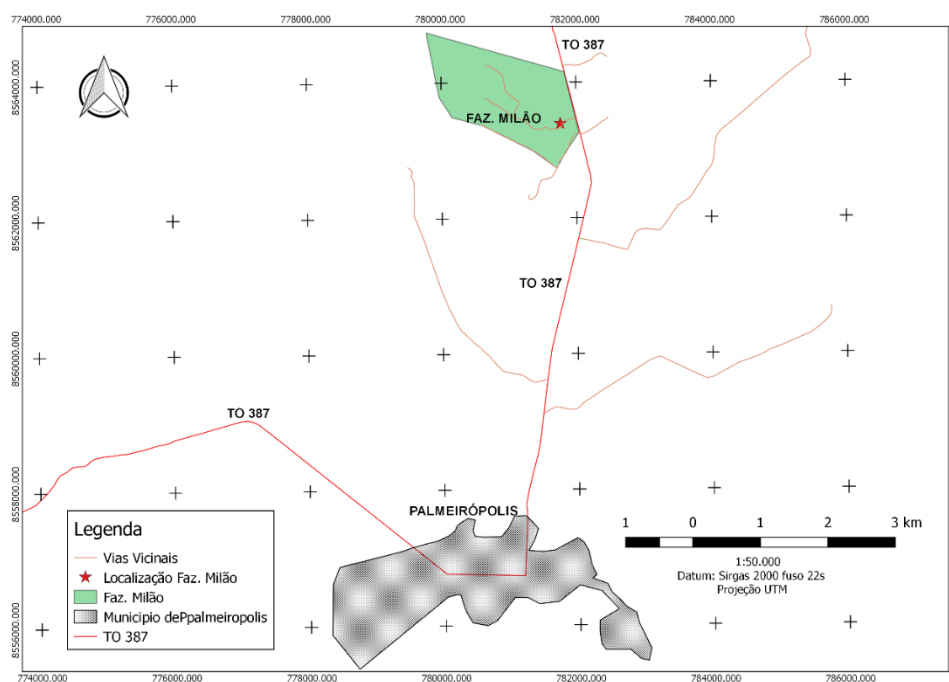
3.1 TIPO DE ESTUDO

O presente estudo trata-se, de um estudo de caso. Quanto à forma de abordagem do problema, pode ser classificada como um estudo qualitativo. Quanto aos objetivos metodológicos, é uma pesquisa exploratória, que busca levantar e delimitar informações de forma a mapear as condições de manifestações do objeto e faz uso do procedimento metodológico, conhecido como estudo de caso (SEVERINO, 2008).

3.2 LOCALIZAÇÃO

O objeto de estudo está localizado na Fazenda Milão que fica aproximadamente 7 Km do município de Palmeirópolis no Estado do Tocantins.

Figura 15 - Distancia da Fazenda Milão ao município de Palmeiropolis-TO



Fonte: - Elaborado pelo Autor (2019)

A propriedade em questão onde está localizado o objeto de estudo, encontra-se sobre as coordenadas geográficas, $12^{\circ}58'56.2''\text{S}$ e $48^{\circ}24'09.5''\text{W}$, e área total de 242,7 hectares.

3.3 OBJETO DE ESTUDO

Trata-se de uma obra não linear cujo, sua finalidade é o acúmulo de um curso d'água intermitente para fins de dessedentação animal na Fazenda Milão. Esta obra hidráulica está sobre as coordenadas geográficas, $12^{\circ}58'51.7''\text{S}$ e $48^{\circ}24'13.7''\text{W}$ e tem uma área total de espelho d'água equivalente de 0,24 hectares.

A estrutura do maciço de terra da obra hidráulica tem as seguintes dimensões: talude de 5 metros de altura desde sua base até a crista, inclinação do talude a montante é de 1/2, e a inclinação do talude a jusante é de 1/1, totalizando uma largura de 12,00 metros e comprimento de 110,00 metros.

Figura 16 - Área do espelho d'água da barragem

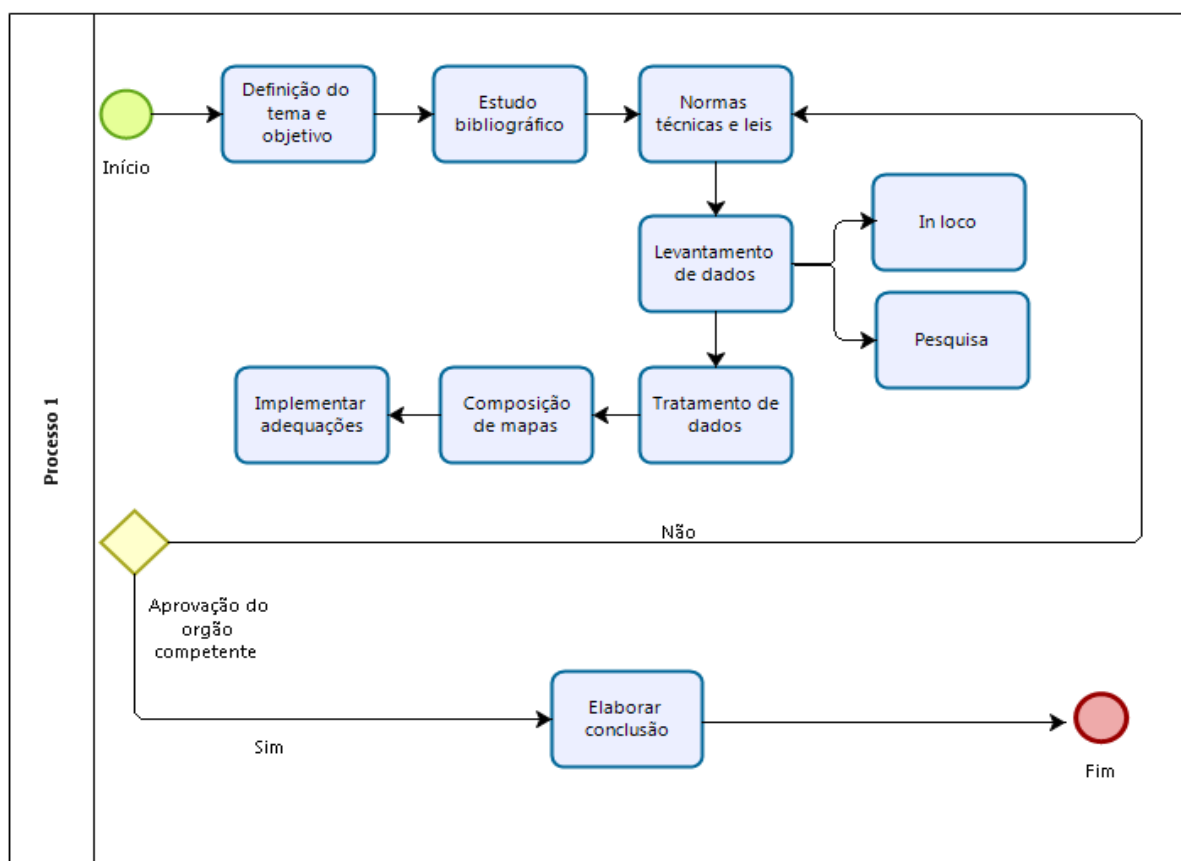


Fonte: - Google (junho de 2019)

3.4 INSTRUMENTOS DE COLETA DE DADOS E ANÁLISE

- Instrumento computacional utilizando a rede mundial –Internet, para a análise de normas técnicas, leis, portarias e decretos.
- Extração de dados de estações pluviométricas cadastradas na ANA;
- Equipamento para levantamentos de dados geográficos e extração de amostra para análise e execução de ensaios geotécnicos;
- Tratamentos de dados pluviométricos por meio dos estudos estatísticos;
- Software de tratamento de dados e geração de mapas, cartas e projetos de georreferenciamento e de estruturas;

Figura 17 - Fluxograma



Fonte: - Elaborado pelo Autor (2020)

Para nortear a pesquisa foi elaborado o quadro 1 composto pela visão e objetivos em que detalha o protocolo para realização deste estudo.

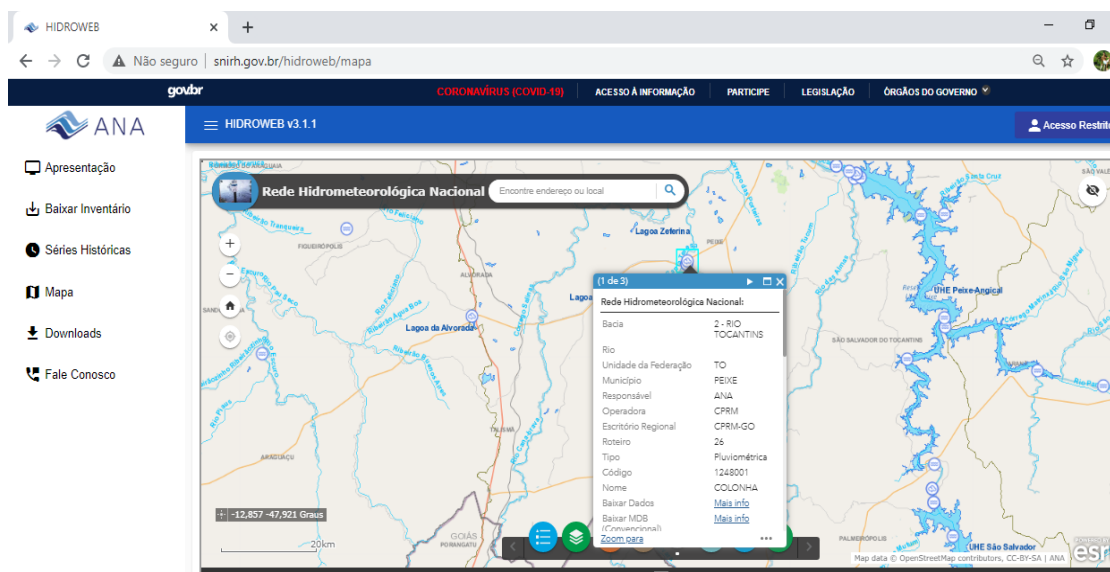
Quadro 3 – Protocolo de pesquisa

Visão Geral do Projeto
<p>Objetivo: Regularização de uma barragem de terra em operação na fazenda Milão no município de Palmeirópolis-TO, conforme a portaria nº 483 do Instituto Natureza do Tocantins.</p> <p>Assuntos do Estudo: Regularização de Barragem de Terra.</p>
Procedimentos de Coleta de Dados em Campo
<p>Apresentação das Credenciais: Apresentação como estudante do curso de Engenharia Civil do CEULP/ULBRA.</p> <p>Acesso aos Locais: A pesquisa ocorreu na cidade de Palmeirópolis (TO).</p> <p>Fonte de Dados: Primárias (observações de campo) e secundárias (materiais públicos e eletrônicos).</p> <p>Advertências de Procedimento: Não se aplica.</p>
Questões Investigadas no Estudo
<ul style="list-style-type: none"> a. Situação atual da obra hidráulica; b. Planejamento da implantação de exigências; c. Levantamento de dados referente a bacia hidrográfica e talude do barramento.
Esboço para o Relatório Final:
<p>Relação entre:</p>

Fonte: Elaborado pelo autor, adaptado de Yin (2010)

Os dados pluviométricos para a realização desta pesquisa foram obtidos a partir do site da ANA (Agência Nacional de Águas), onde a estação escolhida teve como critério a proximidade da bacia estudada e com o maior histórico de precipitações.

Figura 18 - Plataforma Hidroweb



Fonte: <http://www.snirh.gov.br/hidroweb/mapa>

A estação pluviométrica escolhida para a o estudo hidrológico da bacia, foi a estação denominada Colonha no município de Peixe-TO, nas coordenadas, $-12^{\circ}23'24''$ de latitude e $-48^{\circ}42'36''$ de longitude com o período de registro de dados de 1974 a 2020.

O estudo hidrológico da bacia é estatístico, ou seja, através de uma série representativa são calculadas as frequências de ocorrência para chuvas de diversos tempos de recorrência.

Será realizado um levantamento in loco dos tipos de dispositivos de drenagem inexistentes no barramento de terra estudado, com fotos, conhecimento do local, identificação dos dispositivos existente, verificação de utilização, funcionalidade e condições de funcionamento, assim classificando de acordo com as normas e portarias do Naturatins.

3.5 POSSIVEIS SOLUÇOS TECNICAS PARA O PROBLEMA ATUAL

As soluções de melhorias técnicas para o problema atual, será possível com as pesquisas em campo, estudos hidrológicos, índices de chuvas, cálculos de vazões, realização de ensaios do solo e assim indicar a melhor solução que abrange o local.

A apresentação será feito um projeto executivo, cálculos da bacia, planilhas de quantitativos, detalhes de todos os dispositivos de vazão e a plantas e mapas de toda a obra hidráulica, para garantir a segurança física e ecológica do mesmo.

4 RESULTADOS

A representação da tabela abaixo são as máximas precipitações (mm) em cada mês entre os anos de 1974 a 2020, onde as medidas são registradas pelo o aparelho pluviométrico, este aparelho registra as alturas no decorrer do tempo da chuva que são feitas periodicamente e nos intervalos de 24 horas.

Tabela 1 - PRECIPITAÇÕES MAXIMAS DOS MESES DE 1974 A 2020 (mm)

Código da Estação:01248001

ANO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
1974									6,1	15,3	46	26
1975	25	25	27	9	14,6		3		11,3	50	98	16
1976	25	45	14,2	14,2	45				46,2	25,3	30,2	62
1977	75	25	25	50	10	15			25	30,4	42,4	50,1
1978	40,4	140	20,2	25	25	19,6	7,5		15,2	15,2	34	30,4
1979	30,4	30,4	25	25	15,2			25				50
1980	50	50	20,2	15					13,4	9,2	75	62,2
1981	75	18	52	41		9,2				70,6	58,4	77,2
1982	40,4	40	106	48,4	4,2				16,2	71,2	23	50
1983	30	58,4	25	30,2					6,3	101,6	69,9	36
1984	63,8	29,1	80,2	35,2	44,8				10	56,4	36	39,4
1985	90,1	38,7	54,5	35,2	24,8				31,4	30,3	35,8	55,5
1986	23	24,1	75	28,1						68,8	59,9	30,1
1987	54,1	52,4	52	44,2	3,4				7,9	35	63,3	65,1
1988	25,5	51,4	50	56,1	8,2	1,9			31,2	37,3	126,1	33
1989	71,8	45,2	73	35,1	10	19,4	23,6	2,7	5,2	61,3	60,2	42,5
1990	66	32,2					4,4	36,6	50	30	61,1	40
1991	35,1	25	35,2	22,4						94	50	27,1
1992	100	12									102,3	42,2
1993	27	58,2	52,1	55	27,3				5,3	58	51,1	57
1994	80,2	60,2	70,2	17,3		2,9			6,3	13,5	65	52,5
1995	52,3	42,3	102,7	43,7	20,5				6,9	51	52,3	55,3
1996	33,9	93,2	45,4	48,3					3	15,9	76,5	35,4
1997	75,2	26,4	77,5	25,1					6,7	61,2	40	70,8
1998	31,1	48,6	28,9	3	28,3				11	10	74,1	26,5
1999	19,3	44,2	50	34,3	1,7				10,2	30	157,7	82,4
2000	35,1	69,7	66,5	57,8	0				74,1	23,5	52,3	95,6
2001	52,9	57,9	88,7	19,7	6,9				12,3	22	76	50,7
2002	55,1	45,4	41,1	33,5	26,8				35,4	16,7	17,9	58,8

2003	65,4	72,8	62,4	42,5	34,2			50	47,5	66,7
2004	54,6	44,2	72,8	35,6	4		8,5	55,5	30,7	72
2005	95,2	50	65,5	20,5	42,2		20,7	23,6	43,1	30,2
2006	38	46,3	42	45,7			28,2			
2007							1	16,6	75,2	55,5
2008	90,7	38,6	49,3					17	32,8	24,2
2009	41,4	51,2	30,6	58,6	24,4	8,5		30,8	73,5	43,4
2010	31,4	42	50,5	100				30,7	42,1	91,5
2011	56,6	55,3	62,3	17,6				49,4	63,4	24,3
2012	40	56,7	38	54,7	38,3			8,3	24,7	40,4
2013	90,4	27,3	60	8,4				49,5	90	50,6
2014	53,2	53,9	40	53,6	13,4			17,5	18,5	55
2015	28,7	28,1	38,4	51,5	15,6			12,8	6,5	29,5
2016	64,4	28	74,2	2,7		14,2		30,5	39	20,2
2017	32	71	52,8	56,3				10	30	85,3
2018	61,7	94,7	91,1	39,2	4,1		6,6	37	29,5	72,2
2019	26,5	56	33,3	23,9	42			8	46	51
2020	97	68,6	42,2	74,5	2					

Fonte: <http://www.snirh.gov.br/hidroweb> (2020)

Para a obtenção da precipitação efetiva foi realizado um tratamento dos dados obtidos onde foram calculadas as frequências das chuvas máximas dos anos da série histórica e com os tempos de retorno de 5, 10, 20, 30, 40 e 50 anos como mostra a tabela a seguir;

Tabela 2 - MAIORES CHUVAS DE CADA ANO EM MILIMETROS

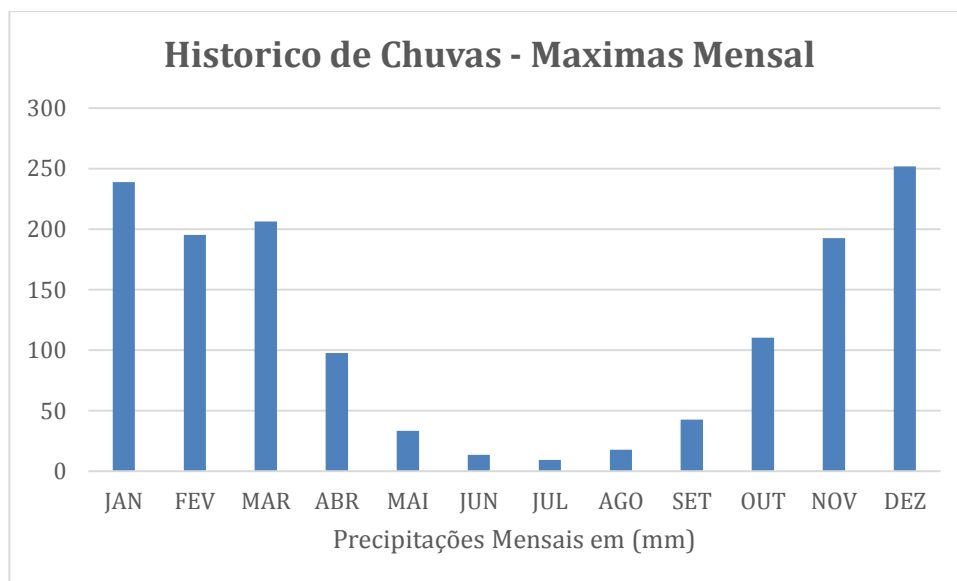
Código da Estação:01248001

ANO	CHUVA MAXIMA	ORDEM	TEMPO DE RETORNO
1999	157,7	1	50 anos
1978	140	2	30 anos
1988	126,1	3	
1995	102,7	4	
1992	102,3	5	10 anos
1983	101,6	6	
2010	100	7	
1975	98	8	
2000	95,6	9	5 anos
2005	95,2	10	
2018	94,7	11	

Fonte: <http://www.snirh.gov.br/hidroweb> (2020)

Por ser uma obra hidráulica de uma pequena barragem de terra o tempo de retorno adotado foi o de 50 anos, que após os cálculos estatísticos a chuva de projeto para essa obra foi de 157,7 milímetros.

Gráfico 1 - Histórico de chuvas máximas mensais



Fonte: Elaborado pelo autor (2020)

Tempo de concentração

Calculado com os valores de maior talvegue presente na bacia em quilômetros e a diferença de cotas em metros, onde neste caso será de 2,17Km e 266 metros.

Eq.6

$$T_c = 16,25 \text{ minutos ou } T_c = 0,27 \text{ horas}$$

Tempo de chuva

E adotado o valor entre 1/4 de T_c ou 1/5 de T_c .

Eq.13

$$T_r = 0,054 \text{ horas}$$

Tempo de pico

Eq.11

$$T_p = 0,189 \text{ horas}$$

Tempo de base

Eq.14

$$T_b = 0,505 \text{ horas}$$

Vazão de pico

Calculada para uma chuva de 1 milímetro, na bacia com a área de 840.000,00 metros quadrados.

Eq.15

$$Q_p = 0,924 \text{ m}^3/\text{s}$$

Hidrograma unitário

Ao obter a vazão de chuva para uma precipitação de 1 milímetro aplica-se a duas formulas para ter o valor de vazão para uma duração de 30 minutos de chuva.

Formula para vazões de acessão:

Equação 28

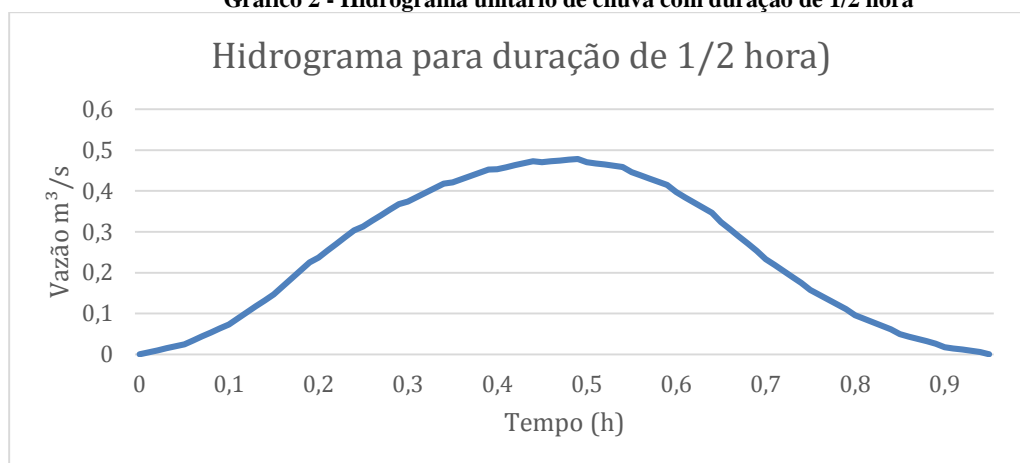
$$q = \left(\frac{q_p}{t_p} \right) \times t$$

Formula para vazões de regressão:

Equação 29

$$q = -\left(\frac{q_p}{t_b - t_p} \right) \times t + \left(\frac{q_p}{t_b - t_p} \right) \times t_b$$

Gráfico 2 - Hidrograma unitário de chuva com duração de 1/2 hora



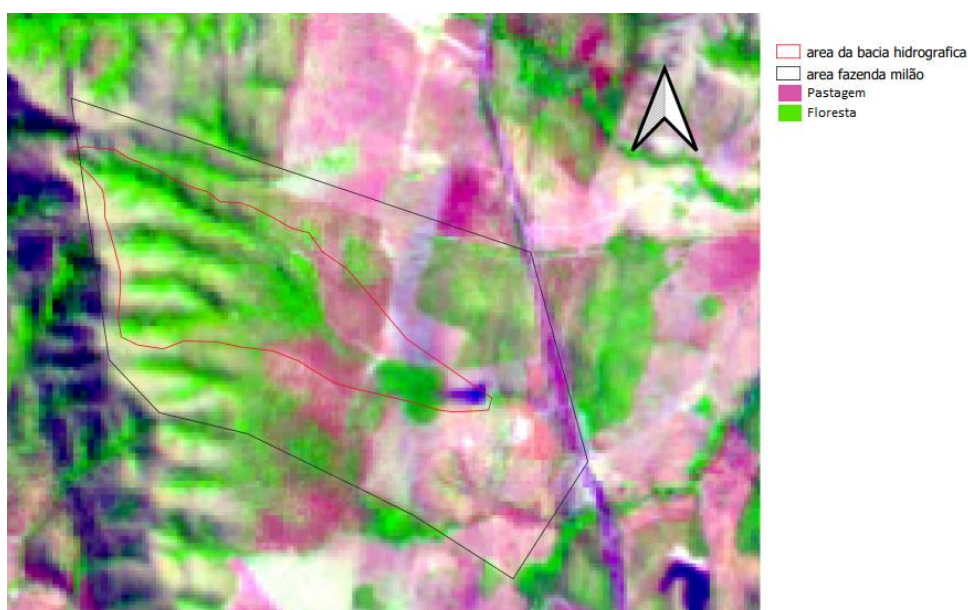
Fonte: Elaborado pelo autor (2020)

Precipitação efetiva

A determinação da precipitação efetiva foi obtida através do método Soil Conservation Service – SCS, seguindo todos seus passos e formulas até chegar a precipitação efetiva e assim determinar a vazão de projeto da determinada bacia estudada.

Com o solo da bacia composta de floresta com condições medias e com um solo classificado como B, o CN adotado para abacia foi de 60.

Figura 19 - Densidade de vegetação na bacia hidrográfica



Fonte: Elaborado pelo autor (2020)

Equação 30

$$S = \frac{25400}{60} - 254$$

$$S = 169,33$$

Equação 31

$$Ia = 0,2 \times 169,33$$

$$Ia = 33,87$$

Precipitação efetiva

Eq.16

$$Pe = 52,31 \text{ milímetros}$$

Vazão de projeto

Utilizando os métodos do Soil Conservation Service – SCS e com o resultado da precipitação efetiva de 52,31 milímetros chegamos a vazão de escoamento superficial da bacia da referida obra hidráulica.

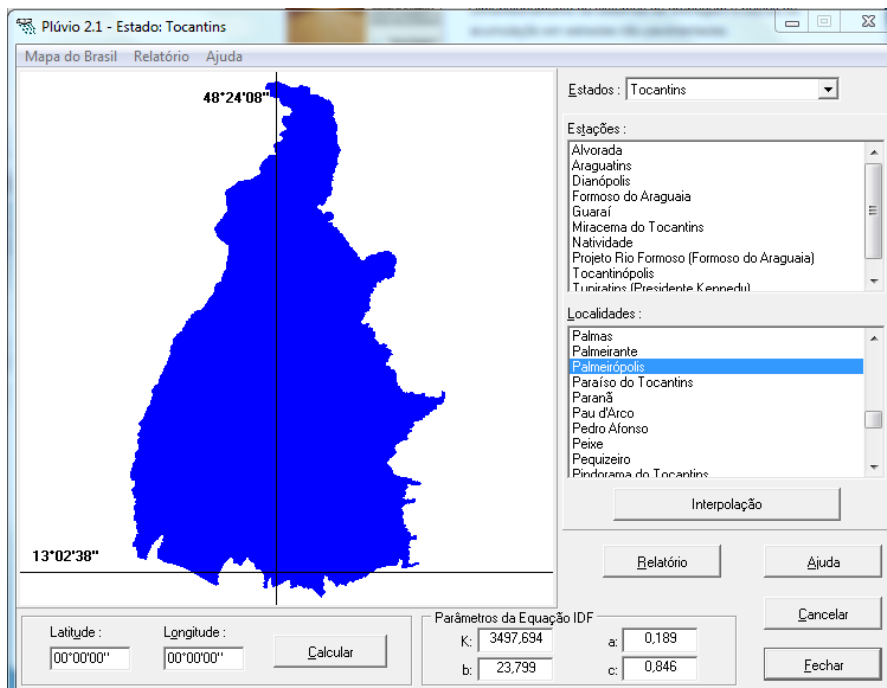
Eq.17

$$\text{Vazão de projeto de } 45,08 \text{m}^3/\text{s}$$

Curvas IDF

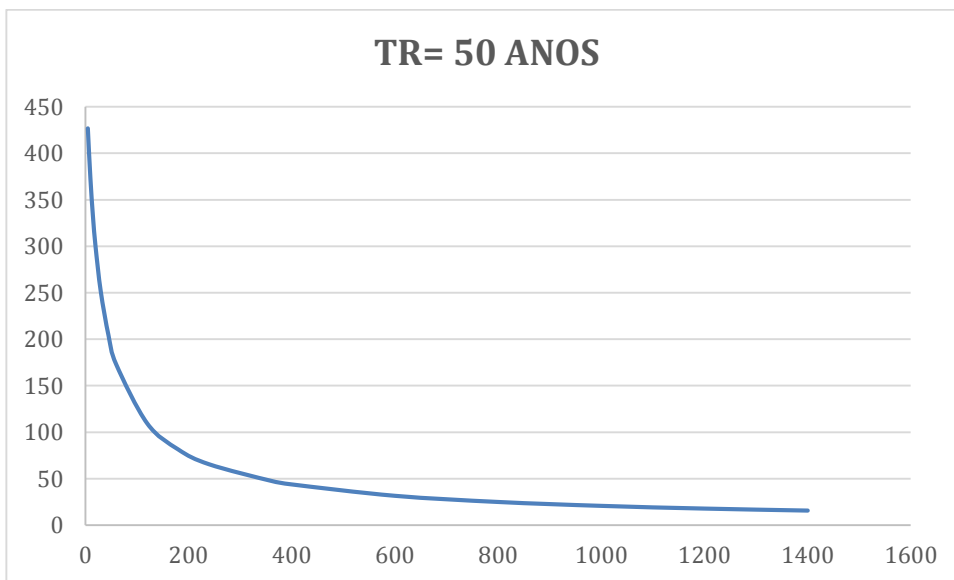
As curvas IDF auxiliam engenheiros e projetistas na ausência e pouca série de informações pluviométricas. Para a elaboração do IDF a seguir foi utilizado o programa Fúlvio disponibilizado nas plataformas da ANA.

Figura 20 - Dados para obtenção da curva IDF



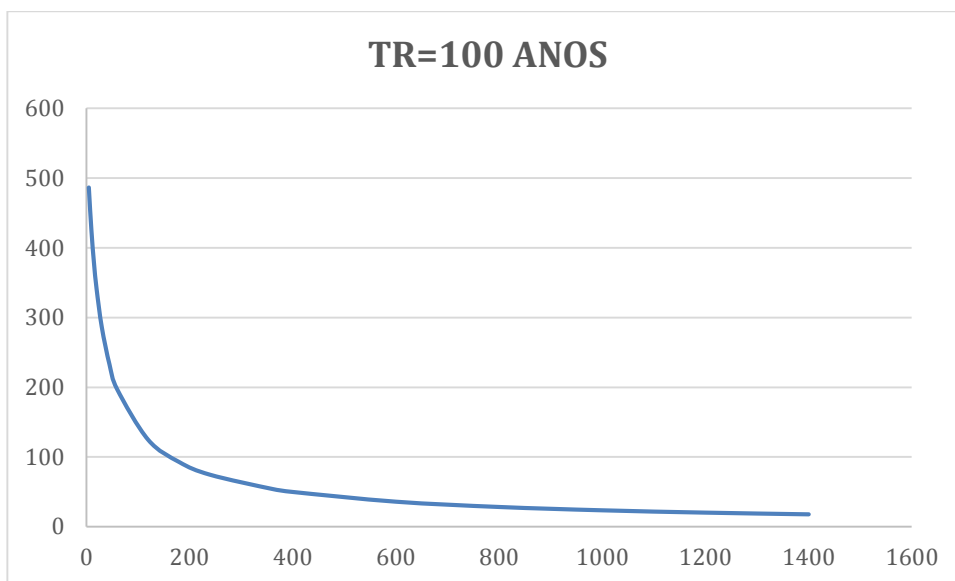
Fonte: Plúvio 2.1 (2020)

Gráfico 3 – Tempo de Retorno de 50 anos, Palmeirópolis do TO, LAT: -12°23'24" LONG: -48°42'36"



Fonte: Elaborado pelo autor (2020)

Gráfico 4 – Tempo de Retorno de 100 anos, Palmeirópolis do TO, LAT: -12°23'24" LONG: -48°42'36"



Fonte: Elaborado pelo autor (2020)

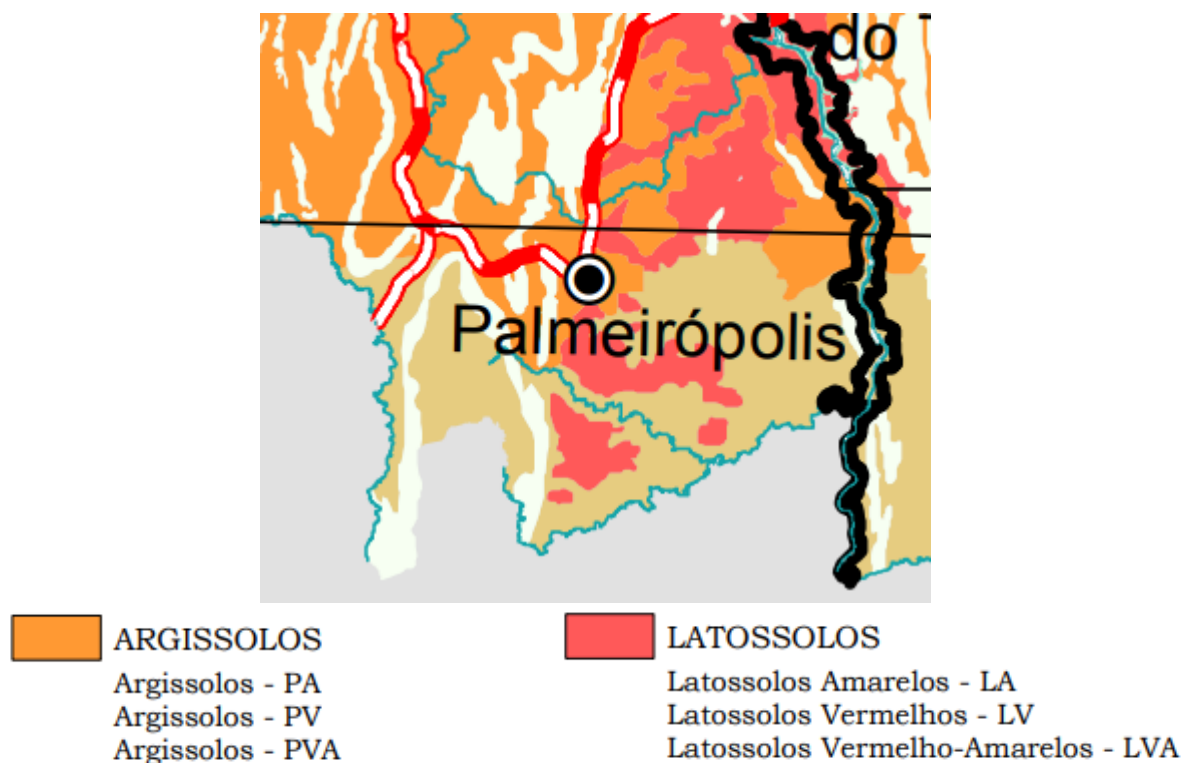
Capacidade de armazenamento do reservatório

Realizado levantamento em campo em fevereiro de 2020, com finalidade de determinação da profundidade média do reservatório através de uso de régua e canoa, onde chegou-se a uma profundidade média de 3,20 metros e com uma lamina d'água de 2.400,00 metros quadrado temos então um reservatório com capacidade de armazenamento de 7.680,00 metros cúbicos.

Resistencia ao cisalhamento

De acordo com o Atlas do Tocantins, a região onde está situado o município de Palmeirópolis do Tocantins, os solos são classificados dentro dos grupos argissolos e latossolos.

Figura 21 - Classificação do Tipo de Solo



Fonte: Atlas do Tocantins (2012)

Ensaio de Cisalhamento direto

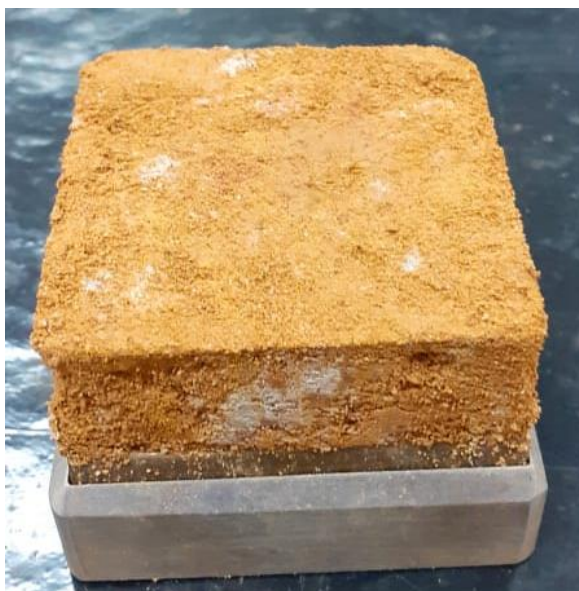
Obtenção de amostra de solo indeformada em campo, com um volume para realizar ensaios que resultam nos parâmetros que determinam o fator de segurança do talude a jusante, onde será a situação mais crítica de estabilidade de toda a barragem.

Figura 22 - Amostra de Solo do talude do Barramento



Fonte: Elaborado pelo autor (Novembro de 2020)

Figura 23 - Corpo de prova para ensaio de cisalhamento direto



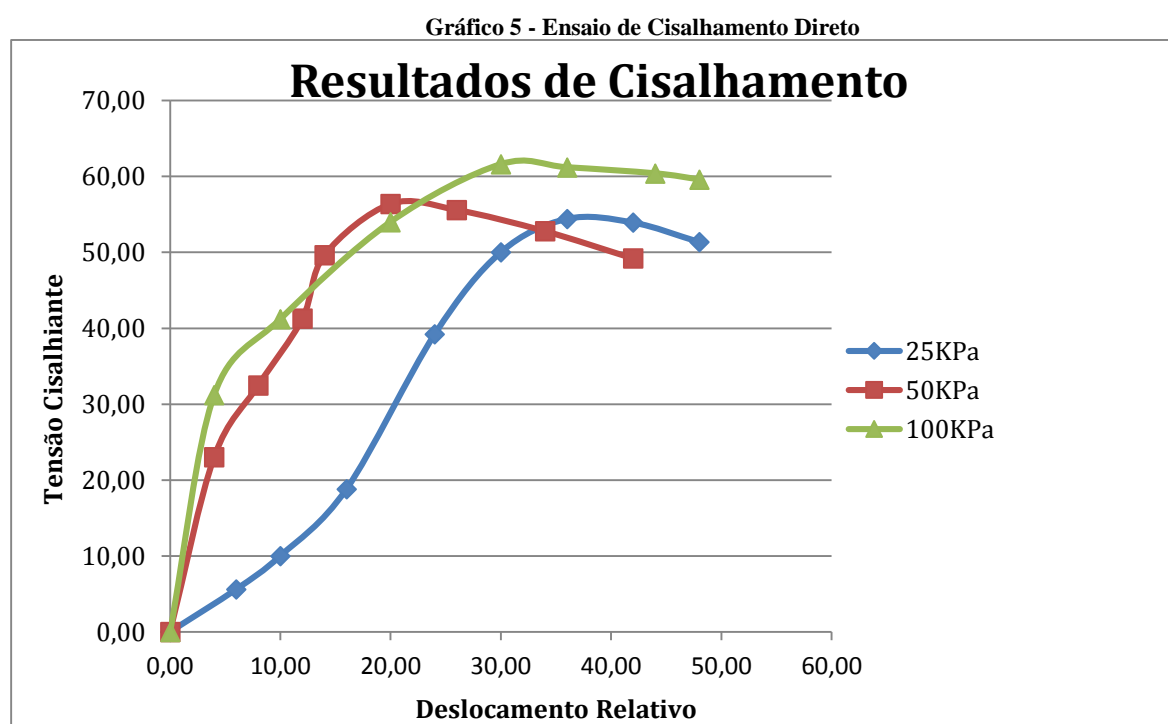
Fonte: Elaborado pelo autor (Novembro de 2020)

Figura 24 - Realização de ensaio de cisalhamento direto



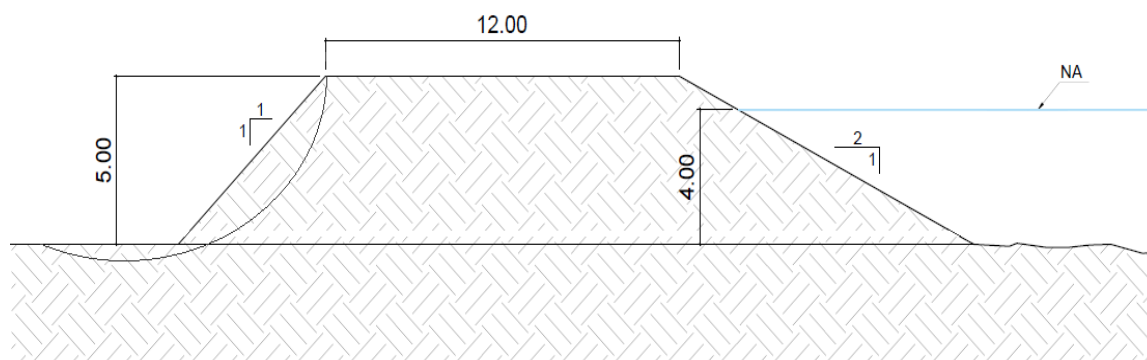
Fonte: Elaborado pelo autor (Novembro de 2020)

Com a realização do ensaio conforme a norma ASTM D3080 – 04, os dados obtidos são dispostos em um gráfico correlacionando as tensões normais com a deformação do corpo de prova, obtemos o seguinte resultado:



Os resultados da realização do ensaio de cisalhamento possibilitam a conhecer os parâmetros do solo, tais como a coesão e o ângulo de atrito, que no estudo compõe o talude de uma barragem de terra, onde foram os valores de coesão $C=13$ KPa e ângulo de atrito $\varphi=20^\circ$. E ainda com a amostra retirada em campo foi possível determinar a sua massa específica com um valor de $\gamma=18$ KN/m³ e assim rodando com esses dados no programa SLIDE2 para obtermos o fator de segurança do talude do barramento de terra da obra hidráulica em estudo.

Figura 25 - Representação da estrutura do barramento de terra



Fonte: Elaborado pelo autor (2020)

Fontenelle e Vieira (2001) afirmaram que, em função da variabilidade inerente ao FS em análise de estabilidade de taludes, associar a avaliação de seu resultado à análise de risco se torna altamente aconselhável e apropriado. Nesta abordagem, o risco de ruptura do talude é definido através de níveis de pertinência para o FS.

Dados do talude a jusante do barramento:

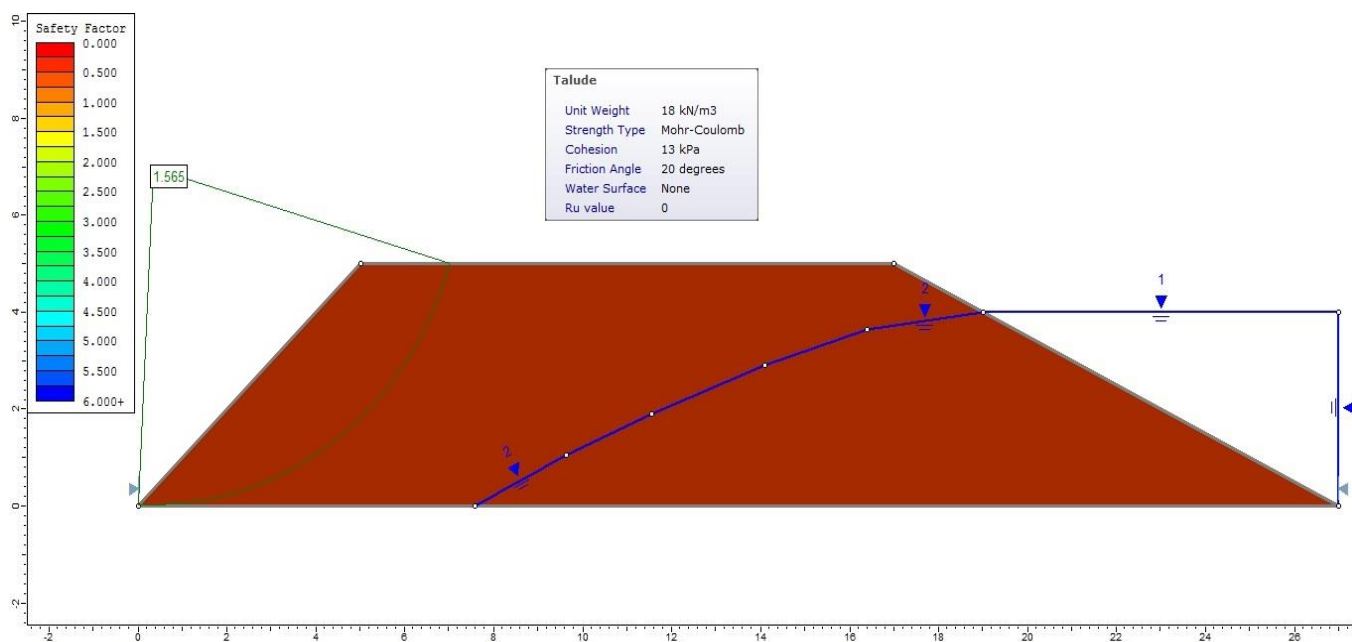
Solo

- Coesão de 13 KPa;
- Ângulo de atrito de 20° ;
- Peso específico de 18 KN/m³.

Dimensão

- Altura de 5 metros;
- Inclinação de 1/1.

Figura 26 - Determinação do Fator de Segurança do Talude (Slide CAD View - Bishop Simplified).



Fonte: Elaborado pelo autor (Novembro de 2020)

O valor do Fator de segurança do talude a jusante do barramento obtido pelo software Slide Cad View, foi de 1.565 ficando dentro dos padrões exigidos pela NBR 11.682 de 2009.

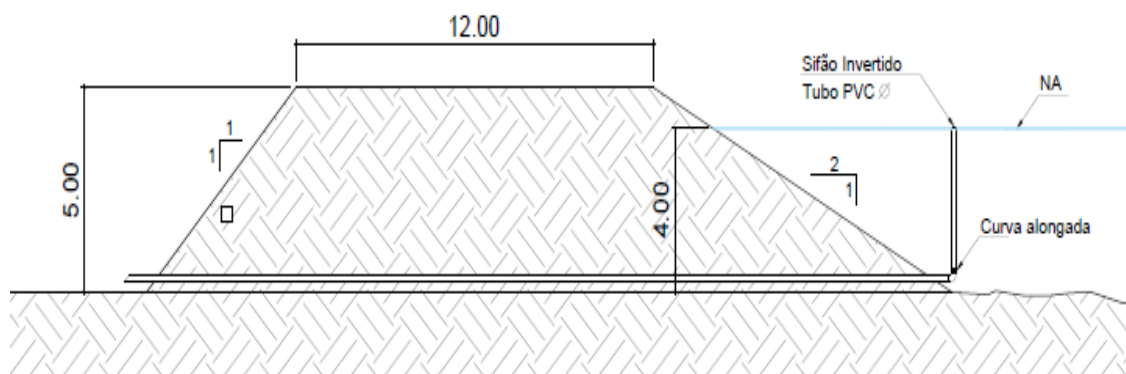
Recomendações

Podemos concluir que os dispositivos existentes na obra hidráulica não são suficientes para garantir um dos requisitos exigidos pelo Decreto 2432, de 6 de junho de 2005, no que se refere a garantia da vazão ecológica correspondente a Q90% para esta região.

Deste modo por ser um barramento em um corpo hídrico intermitente o exigido para ser uma vazão de descarga e 25% da vazão de referência para captação a fio d'água. Sugere-se as seguintes recomendações;

1º Implantação de um sifão invertido em tubo PVC com diâmetro correspondente a 200 milímetros, onde temos uma vazão de 315 litros por segundo.

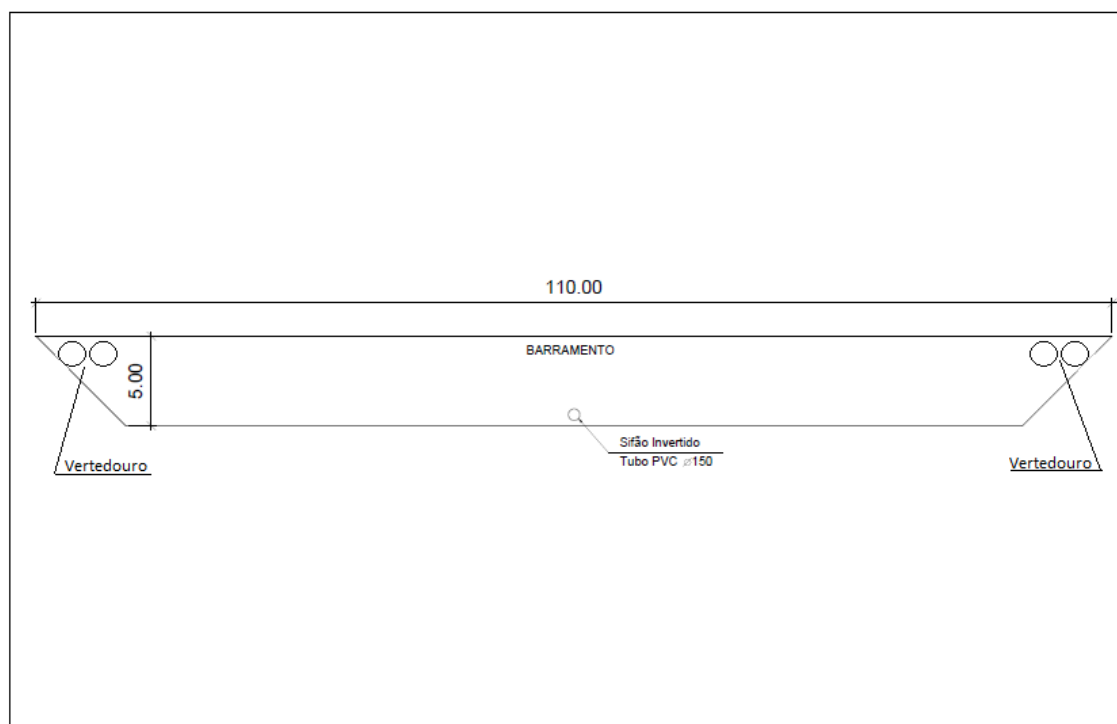
Figura 27 - Croqui de sugestão de implantação de sifão invertido.



Fonte: Elaborado pelo autor (2020)

2º Execução de vertedouros nas extremidades do talude do barramento com um par de manilhas em concreto com diâmetro de 1000 milímetros, para cada lado que dará a segurança a barragem ao verter o volume de água excedido do limite de capacidade do reservatório, com uma vazão máxima de 7,8 m³/s para cada manilha.

Figura 28 - Croqui Frontal dos dispositivos hidráulicos



Vista Frontal

Fonte: Elaborado pelo autor (2020)

5 CONCLUSÃO

A segurança de barragem torna-se elemento primordial para o direito de uso de recursos hídricos, para tanto o barramento foi analisado quanto aos critérios básicos que garantem a estabilidade da obra hidráulica em questão tais como; compactação, tipo e resistência ao cisalhamento do solo, dimensionamento de taludes e dispositivos hidráulicos.

Por fim após análise conclui-se que o barramento estudado está apto quanto a sua estabilidade, porem para que o mesmo seja regularizado conforme a portaria 483 de 2017 e decreto 2432, de 6 de junho de 2005, são necessárias algumas adequações de implantação de dispositivos hidráulicos tais como sifão invertido e vertedouros laterais, que foram sugeridas para que garantem a vazão ecológica exigida pelo órgão fiscalizador competente e impendem que a barragem venha a transbordar.

REFERENCIAS

CAMARERO, Pedro Lemos. **ANÁLISE DE INTEGRIDADE FÍSICA DE BARRAGENS DE TERRA A PARTIR DA INTEGRAÇÃO DO MÉTODO GEOFÍSICO DA ELETRORRESISTIVIDADE COM ENSAIOS GEOTÉCNICOS**. 2016. 99 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Geociências e Meio Ambiente, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2016.

CBDB, Comitê Brasileiro de Barragens - (org.). **A história das barragens no Brasil, Séculos XIX, XX e XXI**: cinquenta anos do comitê brasileiro de barragens. Rio de Janeiro: Cip-brasil, 2011.

SNISB. **Definições Importantes sobre Segurança de Barragem**. Brasília: Ana, 2019.

JANSEN, R. B., **Dams and Public Safety**, A Water Resources Technical Paper, U. S. Department of the Interior, Bureau of Reclamation, Denver, CO, EUA, 1983.

ZUFFO, Mônica Soares Resio. **Metodologia para Avaliação da Segurança de Barragens**. Dissertação de mestrado. Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2005.

TOCANTINS (Estado). Constituição (1988). Portaria nº 483, de 18 de dezembro de 2017. . Palmas, TO.

BRASIL. Constituição (1988). Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010. . Brasília, DF,

ALMEIDA, Gustavo Henrique Tonelli Dutra de et al. **Hidrologia e drenagem**. Londrina: Editora e Distribuidora Educacional S.a., 2017.

FESTI, A. V. Coletânea das equações de chuva no Brasil. In: **XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**. São Paulo: ABRH, 2007.

NOVAES, C. P., (2000), **Sistema de Drenagem Urbana**, UEFS, Feira de Santana – BA, 216p.

SILVA, D. D. da; PEREIRA, S. B.; PRUSKI, F. F.; GOMES FILHO, R. R.; LANA, A. M. Q.; BAENA, L. G. N. **Equações de Intensidade-Duração-Frequência da Precipitação Pluvial para o Estado de Tocantins**. Revista Engenharia na Agricultura. Viçosa. V. 11, n.1-4. Jan-Dez. 2003.

LYRA FILHO, Roberto. **O que é direito**. São Paulo: Editora Brasiliense, 1982.

CHOW, V.T.; MAIDMENT, D.R.; MAYS, L.W. **Applied Hydrology**. New York: McGraw-Hill Pubs. Co. 1988, 572p.

SALLES, Paulo Sérgio Bretas de Almeida (org.). **Resumo Teórico e Prático para Testes de Aquíferos na Zona Saturada e Não Saturada: Ensaio de Infiltração in situ, Slug Test e Testes de Bombeamento**. Brasília: Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento Básico do Distrito Federal, 2016.

MASSAD, Façal. **Obras de Terra**: curso básico de geotecnia. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

PEREIRA, Eduardo Quirino et al (ed.). **Atlas do Tocantins**: subsídios ao planejamento da gestão territorial. Palmas: Seplan, 2008.

SEVERINO, Antônio Joaquim. **METODOLOGIA DE TRABALHO CIENTÍFICO**. 23. ed. São Paulo: Cortez, 2008. 249 p.

PINHEIRO, João Ismael D. et al. **Estatística Básica**: a arte de trabalhar com dados. Rio de Janeiro: Elsevier, 2009.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 3.ed. Porto Alegre: ABRH, 2004. 943 p.

DODAGOUDAR, G. R.; VENKATACHALAM, G. **Reliability analysis of slopes using fuzzy sets theory**. Computer and Geotechnics, nº 27, Issue 2, p. 101-115, Elsevier, 2000.

FONTENELLE, A. S.; VIEIRA, V. P. P. B.. **Análise de risco aplicada à estabilidade de talude de barragem de terra no Estado do Ceará**. XXIV Seminário Nacional de Grandes Barragens, Fortaleza, 2001.