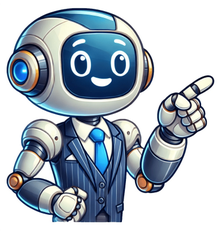
Continue



Barragem de enrocamento

Barragens – principais tipos e aplicações 19/02/2020 por Michele Santos O território brasileiro possui um grande potencial hidrológico o que facilita a criação de barragens para a geração de energia e abastecimento. Além destas, a criação de barragens para contenção de rejeitos da mineração, ou de resíduos industriais. A escolha de cada tipo de barragem está condicionada por questões topográficas, geológicas, climáticas, disponibilidade dos materiais de construção, natureza da fundações, sismicidade do local, entre outros. Convencionais: que são as mais utilizadas e cujo mecanismo é de amplo conhecimento na literatura especializada; Não convencionais: que incluem as que são pouco utilizadas, embora algumas delas possam ter sido desenvolvidas recentemente. Barragens de terra As barragens podem ser construídas com apenas um tipo de material de terra homogênea, ou de terra zoneada, construída com solos diferenciados quanto a sua origem, granulometria e propriedades geomecânicas, mesmo que sejam provenientes de áreas de empréstimo próximas a barragem. Estes são caracterizadas por vales muito largos e ombreiras suaves, a barragem de terra é feita em sentido, geralmente, transversal, ao fluxo de um curso d’água, de tal forma que permita a formação de um reservatório artificial. homogêneas: a barragem é considerada homogênea quando há predominância de um único material, embora possam ocorrer elementos diversificados, como filtros, rip-rap etc.(Fig. 1a). zonadas: nesse tipo de barragem, há um zoneamento de materiais terrosos em função de suas características de materiais e/ou permeabilidade (Fig. 1b). Barragens de enrocamento As barragens de enrocamento são constituídos por blocos de rocha que tem origem nas escavações obrigatórias para implantação das estruturas, como Vertedouros, Tomada de Água, Casa de Força, e ainda as estruturas de Desviocomo túneis e canais. Dividem-se: com núcleo impermeável: na barragem de enrocamento, o material rochoso é predominante e a vedação da água, nesse caso, é feita por meio de um núcleo argiloso, separado do enrocamento por zonas de transição, para evitar o carreamento do material fino para o interior do enrocamento. O núcleo pode ficar centralizado (Fig. 1c) ou inclinado para montante (Fig. 1d). com face impermeável: nesse tipo de barragem, a vedação da água é garantida pela impermeabilização da face de montante da barragem, seja por uma camada de asfalto, seja por uma placa de concreto (Fig. 1e), ou ainda, por uma chapa de aço (Fig. 1f). Figura 1: Barragens de terra e de enrocamento Barragens de concreto As barragens de concreto são divididas em barragem gravidade, gravidade aliviada, em contraforte, concreto rolado ou compactado e abóbada: gravidade: são barragens maciças de concreto, com pouca armação, cuja característica física é ter sua estrutura trabalhando apenas à compressão. Este tipo de barragem é um anteparo para água construído de forma que o peso da barragem seja capaz de resistir ao empuxo horizontal hidrostático e outros tipos de esforços secundários como os dinâmicos devido a sismo, ou empuxo de aterro submerso, formado pelo assoreamento natural ou construído (rejeitos) do reservatório. Esta pode ter seu traçado retilínio (crista) ou em curva (em arco). (Fig. 2a). gravidade aliviada: é um anteparo de concreto suportado por travessas igualmente de concreto suportado por travessas igualmente de concreto, de forma que somente o anteparo é contínuo. Trata-se de uma estrutura mais leve, onde a barragem de gravidade convencional acha-se vazada com o objetivo de imprimir menor pressão às fundações ou economizar concreto, que pode atingir menos da metade do consumo de uma barragem de gravidade. Também pode ter seu traçado retilínio ou curvilíneo (Fig. 2b). em contraforte: essa barragem assemelha-se à de gravidade aliviada, porém é ainda mais leve por concentrar em pequena área da fundação os esforços causados pela pressão hidrostática, apresenta maiores tensões de contato, exigindo uma maior armação. Das três barragens de concreto, é a que apresenta menor volume de concreto (Fig. 2c). de concreto rolado ou compactado: trata-se de uma barragem de gravidade em que o concreto é espalhado com trator de esteira e depois compactado. Como o concreto não é vibrado, a sua estanqueidade é garantida por uma camada de concreto convencional construída no paramento de montante (Fig. 2d). Figura 2: Barragens de concreto. Barragens mistas A barragem pode ser considerada mista em sua seção ou em seu traçado. A barragem de seção mista é aquela constituída por diferentes materiais ao longo de uma seção transversal. Os tipos mais conhecidos são: Terra/enrocamento (Fig. 3a);Terra/concreto (Fig. 3b);Enrocamento/ concreto (Fig. 3c); A barragem é mista ao longo do seu traçado quando parte da obra é de um tipo e parte, de outro, entre as barragens convencionais. Não se considera barragem mista aquela em que o corpo principal é de terra ou enrocamento e o vertedouro é de concreto, mesmo que constitua uma continuidade do traçado (Fig. 3d). Barragens de gabião A barragem de gabião é uma obra de pequeno porte (geralmente inferior a 10 m de altura) projetada para ser parcial ou totalmente vertedoura. Conforme mostra a (Fig. 3e), essa obra é constituída por uma parede de gabião com extensão para jusante formando a bacia de dissipação e aterrada a montante com material argiloso. Ela necessita de uma transição ou manta de bidim entre a argila e o gabião para evitar o carreamento de finos. Uma placa de concreto na parte de vertência deverá garantir a proteção do coroamento para grandes vazões efluentes. Barragens de madeira Essa barragem exige madeira de boa qualidade e deve ser revestida com uma chapa de aço que garantirá a sua vedação. As caixas formadas pela armação de madeira devem ser preenchidas com rocha para evitar o seu deslocamento pelas pressões hidrostáticas (Fig. 3f). Figura 3: Barragens mistas e não convecionais. Barragens de alvenaria de pedra Constitui uma variação da barragem de gravidade, em que o concreto é substituído pela alvenaria de pedra rejuntada manualmente com cimento. Não exige a utilização de armação nem de forma.

Referencias Bibliograficas: COSTA, W. D. Geologia de Barragens. Tipos de Barragens.São Paulo. 2018. OLIVEIRA, A.M.S; MONTICELI, J.J. Geologia de Engenharia e Ambiental. Tipos de Barragens. ABGE. Vol. 3. São Paulo. 2018.

É uma barreira de terra ou barreira de rocha que detém água. Uma barragem deste tipo não suporta bem o galgamento da água, o que pode acarretar consequências catastróficas. Entretanto, caso haja uma fendilhação, esta é mais resistente do que uma de betão. Assim podemos definir dois grandes grupos de barragens de aterro tendo em conta o material de que são feitas: 1. As barragem de terra ou barragem de aterro são compostas por solo que possui um peso específico (1.8 a 1.9 g/cm³), pois apresentam grande volume. Dispõe de uma base larga para distribuir o peso e aumentar a seção de percolação. Barragem de Aterro 2. As barragem de enrocamento são um aglomerado de terra e pedras usadas para sustentação de uma barragem. Assim barragens deste tipo são destinadas ao armazenamento permanente de água e devem possuir um elevado grau de estanqueidade. Barragem de enrocamento What do you think of this post?Useful (8)Awesome (5)Interesting (3)Boring (3)Sucks (3) As barragens são construções extremamente comuns em todo o mundo, elas são utilizadas desde o início das civilizações com intuito, principal, de armazenar água para períodos de seca. Mas, atualmente, elas têm diversas outras finalidades como geração de energia e contenção de rejeitos. Desse modo, essas obras são muito importantes para a sociedade e nós preparamos um conteúdo explicando quais são as componentes estruturais das barragens, os tipos principais tipos, para que são utilizadas e quais são as suas patologias. Figura 1 – Barragem tipo arco. Componentes estruturais da barragem Barramento: barramento é a estrutura principal de retenção, podendo ser composto por diversas técnicas construtivas. Crista: a crista é a parte superior da barragem. Sua largura é determinada pelo nível de tráfego sobre ela, mas, nunca deve ser inferior a 3 metros. A altura da barragem deve ser no mínimo igual ao nível máximo da água somado a borda livre definida em projeto para aquela barragem. Borda livre: é a distância vertical entre a crista e o nível máximo do reservatório, ela faz parte da segurança contra o transbordamento. Taludes de montante e jusante: Talude de montante é a parte da barragem que ficará diretamente em contato com a água, desse modo necessita de cuidados especiais na sua manutenção. O talude de jusante é o lado oposto ao de montante. Ombreiras ou encontros: são pontos de contato entre a barragem e o terreno natural, esses pontos costumam ser mais sensíveis em termos de resistência a ações erosivas. Vertedouros: são estruturas hidráulicas que servem para controlar o nível o do reservatório, permitindo o fluxo de água da montante para jusante. Fundação: é a base na qual a barragem se apoiará e para qual devem ser estudados os efeitos das forças aplicadas sobre a barragem. Figura 2 – Componentes estruturais. Tipos de barragens As barragens podem ser classificadas considerando diversos critérios, mas os mais utilizados são: de acordo com o tipo de material de construção e de acordo com o comportamento estrutural. De acordo com o tipo de material de construção Barragens de terra: são utilizadas desde os tempos antigos para armazenamento de água, mas, atualmente, também são utilizadas para a contenção de diversos outros materiais. Elas podem ser compostas por dois tipos de terra: homogênea e zoneada. As barragens de terra homogênea são compostas por um único tipo de material, esse insumo precisa ter uma certa impermeabilidade para garantir a formação de uma barreira que contenha a água. Já as de terra zoneada são compostas por um núcleo de material impermeável envolto em zonas de materiais que são considerados mais permeáveis, mas, que protegem e suportam o núcleo, as zonas permeáveis são constituídas por areia, cascalho ou fragmentos de rocha, ou uma mistura desses materiais. Figura 3 – Barragem de terra homogênea. Figura 4 – barragem de terra zoneada. Barragens de enrocamento: Nesses tipos de barragens são utilizados blocos de rocha com tamanhos variáveis, alocados de maneira a se obter o maior contato possível entre as suas superfícies, e os vazios são preenchidos com um material menor, além disso, na face de montante (lado em contado com água) é adicionada uma manta de impermeabilização. O tipo de rocha que deve compor a maior parte da barragem precisa ser resistente, não sendo desintegrada ou quebrada por ações como intemperismo físico ou químico. Geralmente, essas barragens são construídas em locais onde o custo do concreto é elevado e não existem matérias terrosos suficientes disponíveis, desse modo, a barragem de enrocamento se torna a opção mais viável economicamente. Além disso, dentro desses dois tipos, temos as barragens a montante, a jusante, e linha de centro. Esse são métodos utilizados quando a barragem precisa ser ampliada. A figura 5 mostra os três métodos, a montante, a jusante, e linha de centro, respectivamente. O método a jusante é, com certeza, o mais seguro, mas também o mais caro. O método a montante geralmente é utilizado para barragens de rejeitos, quando os rejeitos já estão sedimentados é construído a ampliação em cima dos próprios rejeitos, é método mais barato, mas também o mais instável, ele foi utilizado nas duas barragens que se romperam em Minas Gerais nas cidades de Mariana (em 2015) e Brumadinho (em 2019). O método a linha de centro é menos seguro que a jusante, mas, ainda sim, tem uma estabilidade bem próxima e é bem mais barato. Figura 5 – Barragem a montante, jusante e a linha de centro respectivamente. De acordo com o comportamento estrutural Barragens de concreto – gravidade: utiliza o próprio peso para manter a sua estabilidade transferindo as cargas recebidas para a sua fundação. Esse tipo de barragem é o mais resistente, de menor custo e pode ser adaptada para vários locais, porém, a sua altura é limitada pela resistência da fundação uma vez que ela receberá o peso da estrutura e as forças que são aplicadas pela água. Figura 6 – Barragem tipo concreto – gravidade. Barragens de concreto – arco: esse tipo de barragem é pouco comum no Brasil, pois, seu comprimento deve ser pequeno e necessita de vales com encosta rochosas e de alta resistência para suportar os esforços aplicados na barragem e que serão transferidos para as encostas. Elas são muito utilizadas em países europeus, onde os vales são profundos e estreitos. Figura 7 – Barragem tipo concreto-arco. Patologias ou anomalias em barragens De acordo com a Resolução ANA 742/2011, anomalia é “qualquer deficiência, irregularidade, anormalidade ou deformação que possa vir a afetar a segurança da barragem, tanto a curto como a longo prazo”. Portanto, anomalia é qualquer comportamento anormal da estrutura, alertando para a necessidade de uma ação para que a barragem retorne ao seu estado natural. Patologias em barragens de concreto Fissuras ou trincas: Fissuras ou trincas são anomalias físicas que surgem quando as forças de tração aplicadas na estrutura superam a resistência a tração do concreto. Nesses casos, surgem fissuras que dividem o concreto em duas ou mais partes, podendo ocorrer tanto na superfície quanto no interior da estrutura. Essas trincas permitem infiltrações com maior facilidade, desse modo, contribuindo para o surgimento de mais patologias provocadas pela ação da água que está passando. As causas mais comuns são: movimentos no interior do concreto (esses podendo ser por retração/secagem ou mesmo expansão por variações de temperatura e reações químicas) e condições impostas externamente como terremotos ou recalque diferencial da fundação. Expansão: esse tipo de deterioração química é consequência da formação de novos compostos na massa do concreto endurecido, juntamente com o aumento do volume. Alguns compostos de difícil dissolução, provenientes da pasta de cimento, recristalizam os poros do concreto, se esses cristais ocuparem espaços maiores que os poros acabam causando expansões que geram forças de tração, podendo romper a estrutura de concreto. As principais causas dessas patologias são reações álcalis-agregado e sulfatos. Nas reações álcalis-agregado os álcalis agregados do concreto (sódio, potássio) presentes na pasta de cimento podem reagir com a sílica dos agregados causando o aumento do volume. As deteriorações por esse tipo de reação caracterizam-se pela expansão com fissuras aparentes na superfície do concreto. Já as reações sulfatos não são muito comuns em barragens, mas são uma das principais causas de deterioração do concreto, desse modo, podendo acontecer em barragens mesmo que com baixa frequência. Esse tipo de reação é altamente expansiva, causando fissuras no concreto, tornando-o friável, de baixa resistências e exposto a penetração de outros agentes agressivos. Lixivação ou dissolução: esse é um tipo de corrosão da estrutura causada pela dissolução progressiva da pasta de cimento endurecido. Alguns compostos facilmente solúveis acabam sendo lavados do concreto, devido ao acesso contínuo da água, causando perca de materiais. Esse tipo de patologia pode ser detectado pelo surgimento de eflorescências (manchas brancas lineares ou pontuais) na superfície do concreto, se o processo de lixiviação for contínuo pode ocorrer a formação de estalactites. Caso as eflorescências tenham cor castanho-avermelhadas, elas podem ser provenientes da corrosão do aço das armaduras, mas, em alguns é possível que sejam resultantes do carreamento de matéria orgânica ou argila presentes na água do reservatório. Desse modo, é necessário coletar o material dessas eflorescências e realizar um estudo da sua composição para que seja detectada a causa do seu aparecimento. Figura 8 – Lixivação. Corrosão da armadura: a deterioração do concreto por corrosão pode ocorrer de duas maneiras. A primeira é por redução de seção da barra de aço, comprometendo a segurança da estrutura. A segunda é por fissuração do cobrimento do concreto na direção à barra corroída. Devido as corrosões na barra de aço e a geração de ferrugem surgem forças de expansão causadas pelo aumento de volume, podendo causar lascamento no concreto, o que favorece a penetração de agentes agressivos. Figura 9 – Corrosão da armadura do concreto Desalinhamentos e deslocamentos diferenciais: esse tipo de patologia está relacionada com a movimentação da estrutura. Essas movimentações podem ser de dois tipos: desalinhamentos (qualquer variação em relação à configuração estrutural original) ou deslocamento diferencial (movimento de uma parte da estrutura com em relação as outras partes da mesma estrutura). As principais causas para essas patologias são: recalque da fundação, subpressão não prevista na estrutura, reações químicas no concreto com expansão do material ou efeitos térmicos. Figura 10 – Deslocamento Infiltrações: são fluxos de água passando pelas estruturas. As principais causas desses vazamentos são fissuras, vedajuntas deficientes ou rompidos, concreto deteriorado, juntas de construções mal tratadas ou tubulações mal vedas. Patologias em barragens de terra Recalques, fissuras e trincas: como as barragens de terra ou enrocamentos são constituídas por materiais terrosos compactados em camadas, elas possuem características que permitem que, com o passar do tempo, ocorra acomodação das partículas das partículas e consequentemente dessas camadas. Essas acomodações provocam a ocorrência de movimentos verticais dirigidas para baixo, essas movimentações são consideradas normais até determinado ponto, que pode ser previsto em projeto, mas a partir desse ponto crítico podem ocorrer encontros de estruturas ou materiais diferentes, comprometendo a segurança da barragem. Geralmente, esse tipo de problema costuma gerar trincas ou fissuras nas barragens, permitindo a infiltração de água e outros agentes, o que pode levar a barragem ao rompimento. Figura 11 – Recalque em barragem Surgência: denominamos surgência quando a água que passa pelas estruturas das barragens surge em local não previsto, essa água presente em locais inadequados pode alterar as propriedades do material utilizado, como a coesão entre as partículas, gerando instabilidade na barragem. Esse tipo de patologia, geralmente, é causada por entupimento das drenagens ou falhas no projeto construtivo. Figura 12 – Surgência em barragem Erosão: acontece quando algum fluído, geralmente água ou ar, provoca carreamento do material da barragem. Normalmente, a ação de escoamento da água da chuva provoca a formação de ravinamentos que progridem e dão origem a erosões maiores. Também pode o ocorrer um fenômeno denominado piping, que é um tipo de erosão interna que acaba criando canais dentro da estrutura que facilitam ainda mais o carreamento de materiais e mais infiltrações, esse fenômeno, geralmente, é causado por vazamento nas estruturas de drenagem ou devido a infiltrações na barragem. Esse fenômeno é tido como a provável causa para o rompimento da barragem em Brumadinho, em que os rejeitos contidos sofreram uma liquefação (tiveram suas caraterísticas modificadas, tornando-se mais líquidos) e causaram infiltrações na barragem. Figura 13 – Erosão em barragem de terra. Assista esse conteúdo em vídeo: [yotuwp type="videos" id="D4ral_ExqII" player="cc_load_policy=0&iv_load_policy=3"]

REFERÊNCIAS Cardia, Rubens Ramos. Curso segurança de barragens Módulo II: Inspeção e auscultação de barragens. Disponível em: < >. Acessado em 31/01/2019. Prof. M. Marangon, D. Sc. Tópicos em Geotecnia e Obras de Terra: Unidade 5 – Barragens de terra e encoramento. 2004. Disponível em: < >. Acessado em: 31/01/2019 Figuras 3, 4, 6, 7 – Fonte: Stephens, Tim. Manual sobre pequenas barragens de terra. 2011. Disponível em: < >. Acessado em: 03/02/2019. Figuras 8, 9, 10, 11, 12, 13 – Fonte: Cardia, Rubens Ramos. Curso segurança de barragens Módulo II: Inspeção e auscultação de barragens. Disponível em: < >. Acessado em 31/01/2019. Figura 2 – Fonte: Carvalho, David. Barragens: uma introdução para graduandos. Maio/2011. Disponível em: < >. Acessado em: 03/02/2019 Figura 1 – Fonte: Disponível em: < C3%A1frica/g-37932892 >. Acessado em: 03/02/2019. Figura 5 – Fonte: Santos, Altair. Tragédia em MG gera debate sobre construções de barragens. Disponível em < >. Acessado em: 05/02/2019.

As barragens podem ser conceituadas como estruturas destinadas a confinar fluido em um reservatório, o qual pode ser o leito de um rio, uma baía, ou qualquer depressão do relevo criada natural ou artificialmente. Além disso, elas podem ser formadas por diferentes perfis transversais com variados materiais e estruturas. Diante disso, este trabalho tem por objetivo mostrar os principais passos para a elaboração do projeto geotécnico de uma barragem de enrocamento com face de concreto, concentrando-se nos aspectos relacionados à percolação e estabilidade do talude a jusante. Consoante a isso, são desenvolvidas diferentes etapas do projeto de barragem, como a escolha dos materiais, processo construtivo e dimensionamento de sistema de drenagem. 2. METODOLOGIA 2.1. Barragem de enrocamento com face de concreto A barragem de enrocamento com face de concreto é constituída por enrocamentos, ou seja, um maciço composto por blocos de rocha, compactados em camadas. Além disso, ela apresenta placas de concreto sobre o talude de montante do enrocamento como septo impermeável, além de outros componentes como plinto e junta perimetral como mostra a figura a seguir. Figura 1 - Elementos de Barragem de Enrocamento com Face de concreto Fonte: Da Silva, 2004 Os estudos dos materiais que compõem a barragem são essenciais para o sucesso da construção, tendo em vista que terão que aguentar resistências muito grandes. Segue abaixo a escolha dos materiais da barragem. 2.1.2. Fundação Em barragens, o termo fundação refere-se a base onde se apoiam as estruturas de concretos ou aterros compactados. É desejável que ela suporte toda a carga da estrutura sem que ocorra deformações excessivas. Dessa forma, a fundação deve possuir uma resistência adequada para assegurar a estabilidade da barragem. Para isso, é necessário materiais resistentes. Diante disso, a fundação da barragem de enrocamento com face de concreto deve ser em rocha sã, pois a estrutura não pode sofrer muitos recalques excessivos. Logo, rochas como granito, gnaisses, calcáreos, basaltos maciços, entre outros são materiais que podem ser utilizados na fundação, tendo em vista que são mais resistentes que o concreto. 2.1.3. Maciço de Enrocamento O maciço de enrocamento é a estrutura principal do corpo da barragem, ele é dividido em zonas, cuja finalidade é criar um corpo mais funcional para a barragem. Esta caracterização do maciço se faz necessário para um melhor mapeamento visando correlações com os materiais aplicados e talvez futuramente com ensaios edométricos e/ou triaxiais, uma vez que esta caracterização pode facilitar a modelagem de amostras para os ensaios de laboratório. Segue abaixo o zoneamento: Figura 2 - Zoneamento típico da barragem de enrocamento com face de concreto Fonte: SHERARD, 2004. De acordo com a Figura 2, na zona 3A o material a ser empregado é rocha miúda com a mesma espessura que a camada de transição de 40 a 50cm. A zona de transição é constituída de 40% de areias e finos. Já na zona 3B deve-se ser colocado enrocamento em camadas de 1m e por fim na zona 3C o enrocamento deve ser com grandes blocos de rocha em camadas de 1,5 a 2m. Além disso, o material que compõe o núcleo é uma mescla de areia, cascalho e argila, a argila em maior quantidade, pois acarretará um bloco que se recorda ao concreto. 2.1.4. Drenagem interna O material utilizado nos filtros será a areia fina e média, por ser um material com granulometria fina e ter uma boa permeabilidade, fazendo com que os vazios do filtro sejam suficientemente pequenos de forma a impedir a passagem das partículas do solo protegido. 2.2. Percolação em aterros As barragens não são obras destinadas a impedir totalmente a passagem de água, quer por suas fundações, quer pelos aterros. A percolação de certa quantidade de água é inevitável e, até certo ponto, aceitável. A questão que se põe é estabelecer se a percolação coloca em risco a segurança da barragem. Diante disso, o controle de percolação no aterro é feito através da implantação de um sistema de drenagem interna adequado. Sem este sistema, a linha freática atinge o talude de jusante, como mostrado na Figura 3, causando erosão no talude de jusante (piping) e elevando as poropressões no corpo da barragem. Figura 3 – Linha de fluxo em barragem sem sistema de drenagem interna Fonte: MASSAD, 2003. Para evitar a ocorrência do fenômeno descrito acima, é necessário implementar o sistema de drenagem interna, que consiste na utilização de drenos verticais ou inclinados, e horizontais. Os drenos verticais (ou inclinados) interceptam o fluxo que passa dentro do corpo da barragem, enquanto os horizontais interceptam o fluxo da fundação e encaminham o fluxo do corpo da barragem até o pé do talude de jusante. Figura 4 - Água escoando pelo aterro até ser interceptada pelos filtros Fonte: Oliveira, 2008. O dimensionamento do sistema de drenagem interna é realizado através das seguintes etapas: Determinação da largura do elemento drenante (trecho vertical) Pela lei de Darcy, temos que: $Q = k_{fv} \cdot i \cdot B$ Onde: Q: vazão kfv: coeficiente de permeabilidade i: gradiente hidráulico B: largura do dreno vertical Como o fluxo é praticamente vertical, temos que: $i = 1$ Portanto, a largura do dreno é dada por: $B=\frac{Q}{k_{fv}}$ Determinação da largura do elemento drenante (trecho horizontal) Para o dimensionamento da largura do dreno horizontal existem duas hipóteses. A primeira delas é considerar que o tapete trabalha em carga, ou seja, com variação linear da carga em toda a extensão do filtro, como mostrado na Figura 5. Figura 5 - Tapete trabalhando em carga Fonte: Souza, 2013. Para esta hipótese temos que: $B= \sqrt{\frac{Q\ \cdot\ L}{K_{fh}}}$ Onde: Q: vazão kfh: coeficiente de permeabilidade i: gradiente hidráulico B: largura do dreno horizontal L: comprimento do dreno horizontal A segunda hipótese é a de que o filtro trabalha livremente, ou seja, linha freática inclinada ao longo do caminho de percolação, como mostrado na Figura 6. Figura 6 - Tapete trabalhando em linha freática inclinada Fonte: Souza, 2013. Pela equação de Dupuit: $Q=k_{fh} \cdot \frac{h1^2- h2^2}{2L}$ Onde: Q: vazão kfh: permeabilidade do dreno horizontal h1:altura inicial da linha freática h2:altura final da linha freática L: comprimento do dreno horizontal Sendo h2 = 0, então: $Q=k_{fh} \cdot \frac{B^2}{2L}$ Portanto, a largura é dada pela seguinte fórmula: $B=\sqrt{\frac{2\cdot Q \cdot L}{k_{fh}}}$ 2.4. Prevenção contra o piping Para prevenir o piping, o projeto do sistema de drenagem interna tem que garantir que as partículas de solos do aterro não sejam carreadas através do dreno. É importante, portanto, que os vazios do filtro sejam suficientemente pequenos de forma a impedir a passagem das partículas do solo protegido (que são mais finas) por ele. A granulometria do filtro deve atender a determinados critérios, como o critério de filtros de Terzaghi: Onde: $\frac{D15(filtro)}{D85(solo)} < 4\ ou\ 5$ $\frac{D15(filtro)}{D15(solo)} < 4\ ou\ 5$ 2.5. Definir necessidade de outros dispositivos hidráulicos Considerando que a fundação da barragem de enrocamento pode ser implantada sobre solo permeável ou rocha, é necessário fazer o controle de percolação. Dentre várias técnicas, pode ser utilizado o tapete impermeável de montante (Figura 7), pois pode-se empregar este tapete em solo ou concreto a jusante do plinto com o objetivo de aumentar o caminho de percolação. Quando implementadas sobre rocha, os problemas relacionados à percolação se dão devido a existência de fissuras e descontinuidades do maciço rochoso. Visando reduzir a perda de água pelas fundações pode-se utilizar ainda injeções com a finalidade de homogeneizar a permeabilidade dos maciços rochosos e são aplicadas sob o plinto. Figura 7 - Barragem com tapete Impermeável de montante Fonte: MASSAD,2003. Figura 8 - Injeções Fonte: Da Silva, 2004 O dimensionamento de barragens é um processo complexo que envolve a avaliação de vários fatores, incluindo a topografia, geologia, hidrologia, capacidade de suporte do solo, impacto ambiental e os requisitos de segurança. Para dimensionar uma barragem, é necessário considerar as forças e pressões que atuam sobre a estrutura, bem como a capacidade de drenagem e estabilidade do terreno. Além disso, é preciso levar em conta o volume de água que a barragem deve armazenar, a vazão máxima esperada, a presença de possíveis eventos extremos, como enchentes ou terremotos, e os efeitos do tempo sobre a estrutura. O dimensionamento de uma barragem também deve contemplar a necessidade de dispositivos de alívio de pressão, como vertedores e comportas, para garantir a segurança da estrutura em situações de excesso de água. Para realizar esse processo, é comum utilizar técnicas de modelagem em computador e simulações hidráulicas, que permitem avaliar o comportamento da barragem em diferentes condições e prever possíveis problemas. Segue abaixo o dimensionamento de alguns fatores da barragem. A folga é definida como a diferença entre a altura da lâmina de água e a altura da cota de coroamento. Para a realização do cálculo da folga necessita-se da definição de h (Altura das ondas) onde ela é definida por L (km), o que representa o valor do maior comprimento em linha reta do reservatório, e pode ser definido pelos métodos de Stevenson, Molitor (mais preciso), como também por Bureau of Reclamation. $F=0,75\ \cdot h+ \frac{v^2}{2g}$ Em que: h = altura das ondas (m) v = velocidade das ondas (m/s) g = aceleração da gravidade (m²/s) A altura da barragem é calculada em função do volume total de água a ser acumulado. Além da altura relacionada ao nível máximo de acumulação, assume-se dimensionamento de elevações que ocorrem em períodos de chuvas intensas e também a altura referente à distância entre o nível máximo da água e a crista da barragem. Para esse determinado cálculo utiliza se a seguinte equação: $H = hn + he + f$ Em que: H = Altura máxima da barragem, m; hn = Altura da lâmina de água normal, m; he = Altura da lâmina de água no extravasor, m; f = Altura da folga, m. Essa largura é definida de acordo com a sua trabalhabilidade, se haverá passagem ou não de rodovias, caso tenha a necessidade do trânsito de veículos é exigido que sua largura seja no mínimo igual a 6m. Além disso, a largura deve ser obrigatoriamente maior que 3 metros. Ela é calculada seguindo os seguintes métodos: → Bureau of Reclamation (USBR): B = 0,20H + 3,00 → Knappen: $B = 1,65\sqrt{H}$ → Preece: $B=1,1\sqrt {H+1}$ Onde: B = Largura do coroamento H = Altura da barragem Escolha da Inclinação do talude As inclinações dos taludes geralmente apresentam valores próximos, e podem variar de acordo com a velocidade de esvaziamento da barragem, podendo ser definido pela tabela abaixo. Tabela 1- Tabela de dimensionamento da inclinação dos taludes Fonte: Slide. As barragens de enrocamento com face de concreto funcionam como uma barreira, elas são destinadas para a proteção de taludes e canais contra efeitos erosivos causados pelo fluxo de água. Tendo em vista que, a rocha de fundação esteja próxima a superfície, a mesma irá precisar de pouca escavação para ser encontrada, ou seja, nesse tipo de barragem as placas de concreto são ligadas a fundação, podendo gerar recalques ocasionais nas camadas, por isso esse tipo de barragem requer uma atenção especial. Porém, ela se torna atrativa por sua execução ser simples, por obter um menor prazo de execução e por conter um preço inferior dependendo das circunstâncias do local. Levando em consideração que o grau de segurança é elevado, a construção pretende ter uma estanqueidade alta, ou seja, isenta de furos, trincas ou porosidades. A construção pode ser feita basicamente em 3 etapas: Enrocamento, vedação de concreto e cortina de injeções do plinto. 2.7.1. Enrocamento Para fazer esse enrocamento é necessário levar em consideração o tempo de recorrência que está relacionado à segurança da região para o período de desvio do rio, que geralmente adota-se 500 anos em função do comprimento de túneis. Após atingir essa cota de segurança de proteção tem-se um acesso interno para depositar e compactar o maciço de pedras do enrocamento. O enrocamento estratificado é desejado. No método atual, a descarga é feita no topo da camada que está sendo lançada e então empurra-se a rocha na direção do avanço da face. Isso leva a blocos maiores subjacentes aos menores. Expõem que na necessidade de lançamento de enrocamento na água, antes do desvio do rio, deve-se evitar tal procedimento em área de 35 a 40 m jusante do plinto. Essa zona deve ser compactada a seco e com cuidado após o desvio. A espessura máxima de lançamento recomendada é de 15 m. 2.7.2. Laje de Concreto A execução da laje de concreto é crucial na construção, existem várias formas de executar, entre elas a construção do maciço em dois estágios visa antecipar a execução da laje, além de reduzir as alturas de lançamento de concreto, controlando melhor a segregação. Porém sempre se teve receio de que a movimentação do maciço provocasse tensões inaceitáveis na laje, ou que pudesse romper as vedas-juntas da laje perimetral. Ao se executar com antecedência, pode-se verificar o fck aos 90 dias, o que é benéfico em se tratando de uso de cimentos pozolânicos. Outra forma seria sempre que possível, executar a laje de uma só vez, assim evitando uma junta de construção no terço inferior da laje, sujeito à tração. 2.7.3. Cortina de injeções no plinto As cortinas de injeções podem ser feitas de vários materiais, e tem como objetivo compactar as rochas melhorando a resistência e estabilidade. As injeções são compostas por linhas de furos geralmente com profundidade de 5 a 10 metros, geralmente padronizados e espaçados igualmente, colocados ao longo do pé a montante da barragem, ou seja, no plinto. 2.7.4. Desafio técnico O desafio técnico se dá devido à origem de materiais de naturezas diferentes como o enrocamento que é o maciço de pedras e as lajes são de concreto propriamente dito, eles tendem a se deformarem de forma diferente. O módulo de deformação do enrocamento vai variar de 50 a 250 Mpa, onde esse valor está relacionado com a sua compactação, já o concreto atinge 25000 a 35000 Mpa. Por ser materiais de naturezas diferentes ao existir um esforço na barragem eles iram reagir de formas diferentes também, o enrocamento está propenso a recalques devido a ligação da fundação com a rocha sã, e por isso pode causar trincas e fissuras a longo prazo. 2.8. Verificação da Estabilidade do talude de jusante A estabilidade de um talude é a capacidade do mesmo de resistir aos esforços que atuam sobre ele, como a gravidade, a pressão da água, a ação do vento, entre outros. Dessa forma, ela pode ser afetada por diversos fatores, tais como a inclinação do terreno, a natureza do solo, a presença de vegetação, a ação de agentes externos etc. Para garantir a estabilidade de um talude, é importante realizar estudos de solos e análises de engenharia, de forma a determinar as medidas necessárias para prevenir deslizamentos, desmoronamentos e outros problemas relacionados com a instabilidade. Além disso, a manutenção regular e adequada de taludes é fundamental para garantir a sua estabilidade ao longo do tempo. Isso inclui ações como o controle de erosão, a drenagem adequada da água da chuva, a manutenção da vegetação, entre outros. Em resumo, a estabilidade de um talude é uma questão crucial para a segurança e a preservação do ambiente natural, sendo necessário adotar medidas preventivas e de manutenção para garantir a sua estabilidade. Dessa forma, pode-se dimensionar e calcular seus fatores de segurança utilizando alguns métodos como: Taludes Infinitos, Culmann, Fellenius, Bishop e etc, sendo eles calculados através de planilhas automatizadas no Excel ou do Software Geostudio. Método dos taludes infinitos O método dos taludes infinitos é uma técnica utilizada para analisar a estabilidade de taludes em engenharia geotécnica. Este método assume que o talude é infinitamente longo e utiliza equações simplificadas para calcular a força de resistência do solo e a pressão exercida pela água no talude. Para aplicar o método dos taludes infinitos, são consideradas as forças atuantes no talude, tais como o peso do solo, a pressão da água e a força de atrito entre as partículas do solo. Com base nessas forças (Figura 9), calcula-se o coeficiente de segurança do talude, que indica se o talude é estável ou se está propenso a falhas. Este método é útil para fazer uma análise preliminar da estabilidade de taludes e pode ser aplicado em situações em que o comprimento do talude é muito maior do que a sua altura. No entanto, é importante ressaltar que o método dos taludes infinitos oferece apenas uma análise simplificada e não considera todos os fatores que podem afetar a estabilidade do talude. Portanto, é importante complementar essa abordagem com análises mais detalhadas e específicas do local. Sendo calculado por a seguinte equação: $Fs = \frac {c'}{\gamma\ \cdot \ H\ \cdot\ cos^2 \beta\ \cdot\ tg\beta} + \frac{tg \Psi'}{tg\beta}$ Onde: c’ = Coesão Ψ’ = Ângulo de atrito β = Inclinação do talude H = Profundidade γ = Peso específico Figura 9 - Forças que atuam em uma fatia sem percolação Fonte:(ESPARZAVILI, 2017) Valendo a pena ressaltar que, o Fs deve ser superior a 1,5. Este método foi calculado utilizando Microsoft Excel. O método de Culmann é uma abordagem utilizada em engenharia geotécnica para determinar a estabilidade de taludes e estruturas de contenção. Ele foi desenvolvido pelo engenheiro suíço Christian Otto Mohr, mas ficou conhecido como método de Culmann em homenagem a seu professor, Karl Culmann. Este método considera um talude ou estrutura de contenção como um sólido rígido e idealiza as forças e momentos atuando no talude. Ele é frequentemente utilizado para análise de taludes em condições de equilíbrio limite (análise de equilíbrio de forças). Os passos para aplicar o método de Culmann são: 1. Identificação das forças atuantes: As forças devido ao peso do solo, pressões da água, cargas aplicadas, entre outras forças pertinentes ao talude, devem ser identificadas. 2. Determinação dos ângulos críticos de atrito: O método considera o atrito entre os diferentes materiais presentes no talude para determinar os ângulos críticos de atrito que podem levar à instabilidade. 3. Análise de equilíbrio de forças: O método verifica se as forças atuantes e os momentos resultantes estão equilibrados e dentro dos limites de segurança. 4. Cálculo do fator de segurança: Com base na análise de equilíbrio de forças, é possível calcular o fator de segurança, que indica a estabilidade ou instabilidade do talude. É importante mencionar que o método de Culmann possui algumas limitações, particularmente em relação à consideração do comportamento do solo como um sólido rígido, o que pode não refletir com precisão o comportamento real do solo. Por isso, análises mais avançadas com métodos numéricos, como o método dos taludes finitos, são frequentemente utilizadas para projetos geotécnicos mais complexos. O método de Culmann é utilizado para a análise de taludes finitos com superfície de ruptura linear como mostra o seguinte esquema. Figura 10 - Decomposição do peso do talude Fonte: Marinho, 2020. W = Peso da cunha = Ângulo do talude com a horizontal = Ângulo da superfície crítica de ruptura com a horizontal Na = componente normal de W com relação ao plano AC Ta = componente tangencial de W com relação ao plano AC R = Reação à força W Nr = componente normal de R com relação ao plano AC Tr = componente tangencial de R com relação ao plano AC O método de Culmann é calculado pelas seguintes equações: $Wn = W\cdot cos\theta$ $Wt = W\cdot sen\theta$ Onde: W: peso da cunha do talude (hachurado na figura acima). → Cálculo do peso da cunha do talude (W) Notando-se que a cunha é um triângulo, podemos calcular a área da seção transversal hachurada da seguinte forma: $Área = (BC) \cdot \frac{H}{2}$ Podemos dizer, então, que para 1,0m de largura desse talude, temos que: $W=\frac{(BC) \cdot H \cdot \gamma }{2}$ Onde: γ: peso específico do solo. → Cálculo da resistência média de cisalhamento $\tau a = \frac{Wt}{Ac}$ Correlacionando com as seguintes equações: $\sigma' = \frac {Wn}{AC}$ $Fs = \frac{\tau r}{\tau a}$ Podendo assim, ser calculado o Fs pela seguinte equação: $FS = \frac{Wn}{Wt}$ Este método foi calculado utilizando Microsoft Excel. O método de Fellenius é uma técnica utilizada na engenharia geotécnica para calcular a estabilidade de um talude ou de uma escavação. Ele foi desenvolvido pelo engenheiro sueco Karl von Terzaghi Fellenius e é conhecido como método sueco ou das fatias. Realiza a análise estática do volume de material situado acima de uma superfície potencial de escorregamento de seção circular onde este volume é dividido em fatias verticais como mostra a figura 11. Nesse método, são considerados vários fatores, como a resistência do solo, o ângulo de inclinação do talude, a altura do talude, a presença de água e outros elementos que podem afetar a estabilidade. A partir dessas informações, são realizados cálculos para determinar se o talude é estável o suficiente ou se há risco de deslizamento. Caso seja identificado algum problema de estabilidade, podem ser realizadas medidas corretivas, como a adição de suporte ou a modificação do ângulo do talude. Figura 11 - Análise da estabilidade de taludes com superfície curva de ruptura Fonte: Pereira, 2013. Este método foi calculado utilizando o aplicativo Geostudio. O Método de BISHOP (1955), baseado no método das fatias, foi o primeiro método menos rigoroso capaz de analisar superfícies potenciais de ruptura com forma circular. Neste método, o equilíbrio completo de forças e momentos é verificado. A partir deste, foi desenvolvido um novo método, o qual adotou uma nova simplificação, conhecido como o método de Bishop Simplificado. Essa nova simplificação considera que as forças de interação entre as fatias são horizontais e se anulam, desconsiderando as forças tangenciais entre elas. O equilíbrio das forças é realizado na vertical, fazendo com que o método satisfaça a mais uma condição de equilíbrio, além do equilíbrio de momentos em relação ao centro do ponto médio da base da fatia. (Coutinho, 2013). Figura 12 - Forças atuantes Fonte: Fernandes, 2014. Este método foi calculado utilizando o aplicativo Geostudio. 2.9. Rede de fluxo da barragem A rede de fluxo representa o sentido do movimento de água na barragem como mostra a imagem abaixo. Vale ressaltar que a barragem de enrocamento com face de concreto só pode ter fluxo de água vindo da fundação tendo em vista que não são propícias a ter percolação e nem o fenômeno da areia movediça. Figura 13 - Rede de Fluxo de água Fonte: Autoria própria. As barragens são obras necessárias para uma adequada gestão dos recursos hídricos, com isso, a segurança de barragens é um aspecto fundamental. Para garantir as necessárias condições de segurança das barragens ao longo da sua vida útil, devem ser adotadas medidas de prevenção e controle dessas condições. Essas medidas, se devidamente implementadas, asseguram uma probabilidade de ocorrência de acidente reduzida ou praticamente nula. A segurança de uma barragem está intimamente relacionada aos aspectos de projeto, construção, instrumentação/inspeção, operação e manutenção. No caso de barragens de enrocamento, as obras de manutenção mais usuais são: - Limpeza de canaletas de drenagem, de caixas de dissipação e poços de saída do sistema de drenagem interna. - Conservação dos gramados de proteção dos taludes. - Tratamento das surgências d’água junto ao pé do talude de jusante. - Tratamento de trincas na superfície dos taludes ou na crista da barragem. - Recomposição do enrocamento de pé quando da ocorrência de erosões provocadas por condições extremas de operação do vertedouro. - Limpeza e manutenção dos instrumentos de auscultação. 3. MEMORIAL DE CÁLCULO 3.1. Dimensionamento do Sistema de Drenagem Determinação da largura do elemento drenante (trecho vertical) $B = \frac{Q}{k_{fv}}$ $B=\frac{0,000003}{0,00002}$ $B=0,15m$ Por questões construtivas, foi adotado uma largura de 1m devido aos equipamentos de compactação. Determinação da largura do elemento drenante (trecho horizontal 1° hipótese) $B = \sqrt{\frac{Q\ \cdot\ L}{k_{fh}}}$ $B = \sqrt{\frac{0,000003\ \cdot\ 12,5}{0,00002}}$ $B = 1,37 m$ Determinação da largura do elemento drenante (trecho horizontal 2° hipótese) $B = \sqrt{\frac{2\ \cdot\ Q\ \cdot\ L}{k_{fh}}}$ $B = \sqrt{\frac{2\ \cdot \ 0,000003\ \cdot\ 12,5}{0,00002}}$ $B=1,94m$ 3.2. Dimensionamento da Barragem $H = hn + he + f$ $H=16+0+14$ $H=20m$ Em que: hn = 16 m (fornecido pela professora) he = consideramos 0, visto que o mesmo não foi apresentado no problema solicitado. f = 4 m (fornecido pela professora) → Bureau of Reclamation (USBR): $B=0,20H+3,00$ $B=0,20\cdot 20+3,00$ $B=7m$ → Knappen: $B=1,65\cdot \sqrt H$ $B=1,65\cdot \sqrt 20$ B = 7,38m, arredondando para 8m → Preece: $B=1,1\cdot \sqrt{H+1}$ $B=1,1\cdot \sqrt{20+1}$ B = 5,92m, arredondando para 6m Todos os métodos são aceitos, porém mediante aos resultados obtidos resolvemos utilizar o método de Knappen com uma largura de 8m. Escolha da Inclinação do talude Após a escolha do método Knappen, foi necessário analisar a velocidade de esvaziamento da barragem, como esse dado não foi ofertado, optamos por utilizar uma das relações mais utilizadas, sendo 3:1 para taludes de montante e 2:1 para taludes de jusante, dados obtidos na tabela 1. Diante disso, utiliza-se para o montante a cada 1 metro de altura 3 vezes essa dimensão de largura, ou seja: 3 * 16 = 48 metros Já para a jusante para cada 1 metro de altura 2 vezes essa dimensão de largura ou seja: 2 * 20 = 40 metros 3.3. Verificação da Estabilidade do talude de jusante Método dos taludes infinitos Deve-se fazer a escolha do tipo de solo, para então assim determinar sua coesão, ângulo de atrito e peso específico do solo de acordo com a figura 14. Figura 14 - Tipos de solo Fonte: CAMPOS, 2021. O tipo de solo escolhido foi o silte arenoso-argiloso, logo a barragem ficará com os seguintes parâmetros: c’ = 15 Kpa Ψ’ = 42° β = 23° (determinado pelo desenho) H = 6 m γ = 19 kn/m³ Logo: $F_s = \frac{c'}{\gamma\ \cdot\ H\ \cdot\ \cos^2 \beta\ \cdot\ tg \beta} + \frac{tg \Psi'}{tg \beta}$ $Fs = \frac{15}{19\ \cdot\ 6 \cos^2 23\ tg 23} + \frac{tg42}{tg 23} = 1,735 > 1,50$ ou seja possui um fator de segurança adequado. Seguindo os mesmos valores anteriores para realização desse método temos: c’ = 15 kpa e’ =15° Ψ’ = 42° β = 23° (determinado pelo desenho) H = 20 m γ = 19 kn/m³ → Encontra-se o valor de X e de L pelas seguintes equações: $tgβ =\frac{x}{H}$ $X =tgβ\cdot H$ $X =tg23 \cdot 20 = 1,697$ $tg \Psi = \frac{L}{H}$ $L=tg \Psi \cdot H$ $L =tg42 \cdot 20 = 3,601$ $BC=L-X$ $BC=3,601-1,697=1,904$ → Cálculo do peso da cunha do talude (W) → Fator de segurança (Fs): $Fs = \frac{Wn}{Wt}$ $Fs = \frac{313,247}{180,853}=1,732 > 1,50$ ou seja possui um fator de segurança adequado. 4. RESULTADOS 4.1. Dimensionamento do sistema de drenagem interna Determinação da largura do elemento drenante (trecho vertical) De acordo com a metodologia apresentada acima, obteve-se uma largura para o dreno vertical de 0,15m, entretanto, por questões construtivas foi adotada uma largura de 1m devido aos equipamentos de compactação como mostra a tabela abaixo. Tabela 2 - Largura do dreno vertical Fonte: Autoria própria. Determinação da largura do elemento drenante (trecho horizontal) Para o dimensionamento do dreno horizontal foi apresentado duas hipóteses, no qual a largura da hipótese 1 deu 1,37m e da hipótese 2 deu 1,94m como mostra a tabela abaixo. Tabela 3 - Largura do dreno horizontal Fonte: Autoria própria. Diante dessas duas hipóteses foi adotado para o projeto uma largura para o dreno horizontal de 1,5m como mostra a figura a seguir. Figura 14 - Representação do sistema de drenagem interna Fonte: Autoria própria. Prevenção contra o piping De acordo com a escolha do material do filtro que foi areia fina e média e do material do solo que foi uma argila siltosa (Tabela 4) pode-se verificar a existência do fenômeno de piping. Tabela 4 - Coeficiente de permeabilidade de diferentes materiais e seus respectivos diâmetros Fonte: Slide. De acordo com a verificação abaixo expressa na tabela 5, percebe-se que a barragem está prevenida contra o piping atendendo os dois critérios descritos no item 2.4. Tabela 5 - Verificação contra o piping Fonte: Autoria própria. É importante ressaltar que não há piping em barragens de enrocamento, pois se trata de material granular, bem como não há o fenômeno da areia movediça pois no enrocamento o diâmetro característico do material é elevado, de forma que o fluxo da água crítico para romper a estrutura não é alcançado em condições normais. Desta forma, pode-se afirmar que na barragem de enrocamento com face de concreto o principal problema relacionado com o controle de percolação em fundações em rocha é relacionado com a perda de água, a qual pode ser evitada com uso combinado de técnicas apresentadas anteriormente. 4.2. Verificação da Estabilidade do talude de jusante Método de Fellenius e Bishop Os respectivos cálculos da estabilidade foram realizados no software Geostudio. → Desenho do dimensionamento da barragem: Com todos os dados da barragem obtidos, é possível efetuar o desenho da barragem para análise, utilizando além dos dados da sua estrutura, os valores correspondentes aos dados do material utilizado para sua execução. Figura 15 - Dimensionamento da Barragem Fonte: Autoria própria. → Método de Fellenius: O respectivo método é divido em algumas etapas, como: Subdividir a inclinação em fatias e assumir uma base de fatia linear. Equilibre as forças em cada fatia, assumindo que a tensão normal na base da fatia é gerada pelo peso do solo contido na fatia. Calcule o equilíbrio de um conjunto usando a equação de equilíbrio de momento. Para a realização dessa etapa, foi utilizado o geostudio para obter o fator de segurança, o mesmo é calculado apenas pelo equilíbrio de momentos, as forças tangenciais e normais na parede da fatia não são consideradas, diante disso, obteve-se a partir do software um fator de segurança de 1,675 (Figura 16). Isso significa que o método é projetado para garantir que a força de estabilização seja 1,625 vezes maior do que a força de instabilidade, proporcionando uma margem de segurança contra possíveis movimentos de massa nos taludes. Este é um parâmetro importante para avaliar a estabilidade de taludes e garantir a segurança no determinado projeto. Figura 16 - Método de Fellenius Fonte: Autoria própria. Esse método se diferencia um pouco do fellenius pois considera reações entre fatias adjacentes. Segundo Rogério (1977), o método de Fellenius leva a uma superestimação do fator de segurança (Fs) da ordem de 15% em relação ao de Bishop, fornecendo assim, um valor conservador. para realização de Bishop deve-se levar em consideração os seguintes parâmetros: Não há força de cisalhamento entre fatias. as forças entre as fatias são horizontais. o plano de ruptura é redondo. Realizando esse método no software obteve-se um fator de segurança de 1,807 (Figura 17) Figura 17 - Método de Bishop Fonte: Autoria própria. Método dos taludes infinitos e Culmann Os respectivos cálculos da estabilidade foram realizados no software Excel. Método dos Taludes Infinitos O fator de segurança pelo método dos taludes infinitos deu 1,73 (Tabela 6), o que é maior que 1,5. Ou seja, apresenta uma estabilidade boa. Tabela 6 - Método dos taludes infinitos Fonte: Autoria própria. O fator de segurança pelo método de Culmann deu 1,73 (Tabela 7), o que é maior que 1,5. Ou seja, apresenta uma estabilidade boa. Tabela 7 - Método de Culmann Fonte: Autoria própria. Dado o exposto, as barragens de enrocamento com face de concreto possuem uma execução simples, tendo em vista que não são propensas a infiltrações devido a granulometria do maciço do enrocamento possuir granulometria elevada. Tendo a necessidade de dispositivos hidráulicos para diminuir a sua pressão interna, levando em consideração que ela possui fatores de segurança satisfatórios, assim pode-se dizer que diante das análises feitas a barragem apresentada neste presente trabalho, possui boa resistência e estabilidade.

6. REFERÊNCIAS COUTINHO, Vanessa. MÉTODOS ANALÍTICOS PARA AVALIAR A CONTRIBUIÇÃO DE ESTACAS PARA O FATOR DE SEGURANÇA DE TALUDES. [S.l.], 2013. Disponível em: . Acesso em: 29 nov. 2023. Morgenstern, N.R., and Price, V.E. 1965. The analysis of the stability of general slip surfaces. Géotechnique, 15(1): 79-93. DELLA, Juliano Possamai; SANTOS, Adailton Antonio dos. Análise de estabilidade de barragem zoneada - estudo de caso. Disponível em: 20Possamai%20Della.pdf. Acesso em: 29 nov.2023. BRITO, Maíra Soares de. Guia para dimensionamento de barragens de terra de pequeno porte. Disponível em: . Acesso em: 29 nov.2023. ABREU, Ricardo Rossato. Dimensionamento e acompanhamento executivo de uma barragem de terra para irrigação - um estudo de caso. Disponível em: 20e%20acompanhamento%20executivo%20de%20uma%20barragem%20de%20terra%20para%20irriga%C3%A7%C3%A3o%20%E2%80%93%20um%20estudo%20de%20caso.pdf. Acesso em:29 nov.2023.