



VI-1343- ANÁLISE DE FALHAS UTILIZANDO AS METODOLOGIAS FMEA E FMECA EM BARRAGENS DE MINERAÇÃO

Renata Lima Ferreira ⁽¹⁾

Engenheira Civil pelo Centro Universitário de Belo Horizonte (UniBH), Pós-graduanda em Engenharia Geotécnica na PUC-Minas.

Endereço ⁽¹⁾: Alameda Oscar Niemeyer, 400, Vale do Serreno, Nova Lima – MG – CEP 34006-049
e-mail: engenharia.renataferreira@gmail.com

Luan Saulo de Almeida Moreira ⁽²⁾

Engenheiro Civil pelo Universidade de Vassouras, Pós-graduado em Engenharia Geotécnica na PUC-Minas.

Endereço ⁽²⁾: Alameda Oscar Niemeyer, 400, Vale do Serreno, Nova Lima – MG – CEP 34006-049
e-mail: luan_saullo@hotmail.com

Luana Cláudia Pereira ⁽³⁾

Doutora em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Viçosa (UFV).

Endereço ⁽³⁾: Alameda Oscar Niemeyer, 400, Vale do Serreno, Nova Lima – MG – CEP 34006-049 - e-mail: luanac_pereira@hotmail.com

RESUMO

De acordo com a Agência Nacional de Mineração (ANM), barragens são estruturas projetadas para a contenção e acumulação de substâncias líquidas ou de mistura de líquidos e sólidos, provenientes dos processos para beneficiamento de minérios. Assim, as barragens possuem um papel importante para a sociedade, auxiliando na geração de energia e aumentando a disponibilidade hídrica local, podendo também conter os rejeitos e sedimentos gerados pela mineração, além de fazer amortecimento de cheias. Contudo, se faz necessário gerenciar os riscos ambientais, socioeconômicos e de perda de vidas humanas que essas estruturas podem apresentar. Nesse contexto, algumas metodologias podem auxiliar na identificação de falhas, prevendo eventos adversos que podem ocasionar acidentes. Sendo assim, o presente trabalho apresenta uma comparação entre a metodologia FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*) e FMECA (*Failure Mode and Critical Analysis*), através de uma ampla revisão bibliográfica, identificando vantagens e desvantagens. A partir do emprego destas metodologias em barragens de mineração foi possível elaborar um plano de controle com prevenção e mitigação de riscos.

PALAVRAS-CHAVE: Análise de risco em barragens, modos de falha em barragens, FMEA, FMECA,

INTRODUÇÃO

A mineração é um setor representativo para a economia do Brasil, principalmente para suas exportações. Além disso, o setor mineral alavanca outros setores da indústria de base para viabilizar todo o processo de extração, beneficiamento, disposição e transporte do minério. Contudo, o processo de beneficiamento do minério também traz consigo uma grande geração de resíduos que precisam ser dispostos adequadamente do ponto de vista legal, ambiental, social e, também, econômico. Neste sentido, as barragens de mineração são um dos métodos empregados para disposição destes resíduos (SOUZA JUNIOR, MOREIRA & HEINECK, 2018).

De acordo com a Agência Nacional de Mineração (ANM), barragens são estruturas projetadas para a contenção e acumulação de substâncias líquidas ou de mistura de líquidos e sólidos, provenientes dos processos de beneficiamento de minérios. Sendo assim, as barragens possuem um papel importante para a mineração na contenção de rejeitos e sedimentos ou, ainda, na acumulação de substâncias líquidas. Entretanto, são estruturas de engenharia de grande porte que ocupam extensas áreas e requerem cuidados, ações de gestão e monitoramento constante para garantir o seu funcionamento adequado e seguro.

Fonseca (2018) relata que os acidentes recentes em barragens de mineração têm feito com que as mineradoras apliquem métodos de análise de riscos em suas barragens visando entender o comportamento destas estruturas e prever quais métodos de falha podem ocorrer e, a partir de então criar mecanismos/ferramentas que permitam gerenciar estes riscos.

- Os modos de falha são definidos como causas ou circunstâncias que podem levar a estruturas ao colapso. De acordo Klimkievicz (2017), Fonseca (2018) Lima e Toledo (2018), as barragens de terra e enrocamento estão sujeitas a diversos modos de falha. A seguir segue a definição de alguns modos de falha, segundo esses autores. Galgamento: é quando a água do reservatório transborda por cima da estrutura;
- Erosão interna: pode ocorrer quando no interior do talude os materiais finos são carreados por percolação, gerando então erosão interna;
- Instabilidade de taludes: pode se caracterizado quando há movimentação de massa de solo, como por exemplo o deslizamento;
- Liquefação: a liquefação ocorre quando o material perde a sua resistência ao cisalhamento, tornando-se mais fluido.
- Colmatação do sistema de drenagem: pode ocorrer através de agentes físicos, químicos ou biológicos, devido a compostos obstrutores como óxidos, hidróxidos ou até mesmo micropartículas de argilas carreados pelas águas de drenagem.

Nesse contexto, este trabalho tem como finalidade apresentar duas metodologias que podem ser utilizadas para as análises de falhas em barragens de mineração, a FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*) e a FMECA (*Failure Mode and Critical Analysis*), visando prever eventos adversos evitando assim possíveis catástrofes.

OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é apresentar através de uma ampla revisão bibliográfica as aplicações das metodologias FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*) e FMECA (*Failure Mode and Critical Analysis*), em barragens de mineração e assim identificar as vantagens e desvantagens destes métodos para auxílio na elaboração de um plano de controle com prevenção e mitigação de riscos.

MATERIAIS E MÉTODOS

Este trabalho foi realizado através de uma ampla revisão bibliográfica que levou em consideração artigos científicos relacionados ao tema de gestão de riscos, especificamente, analisou-se as definições das metodologias FMEA e FMECA visando averiguar sua aplicabilidade à barragens de mineração. Fez-se a análise de riscos para uma barragem de mineração e, também uma verificação de quais seriam as limitações das metodologias aplicadas.

De acordo com Sousa, Campello, Lima e Fusaro (2017), a metodologia FMEA é uma análise qualitativa que identifica possíveis modos de falha da estrutura confrontando a probabilidade de ocorrência e consequência a fim de identificar as classes de riscos/preventivas para os respectivos modos de falha. Diferentemente da metodologia FMECA que se trata de uma análise semiquantitativa visando avaliar a criticidade de cada modo de falhas.

De acordo com Miguel e Segismundo (2008), a origem dessa metodologia é apresentada em 1949 pela norma *Military Standard Mil-STD-1629 – Procedures for Performing a Failure Mode, Effects and Critically Analysis* e mais tarde através da NASA nos anos 60, sendo pioneira no desenvolvimento e evolução.

A seguir será detalhado as vantagens, limitações, e aplicação dessas metodologias.

FMEA

Algumas definições importantes para utilização da metodologia FMEA, de acordo com Fonseca,2018:

- Falha: Pode ser considerada como uma perda de desempenho ou função de um sistema. Em barragens, a falha pode estar relacionada em qualquer parte da estrutura e seus sistemas associados, ocasionando em perda de contenção ou vazamento de rejeitos.

- Causa de falha: É a condição que pode levar a ocorrência do modo de falha.
- Modo de Falha: A forma como a falha é observada no elemento.
- Efeito: impacto de um modo de falha, no desempenho do sistema e seus componentes.

A utilização dessa metodologia, aplicada a barragens de mineração, resumidamente, pode ser definida nas seguintes etapas:

- Identificação do modo de falha: Nesse passo, é necessário definir os possíveis modos de falha aplicáveis à estrutura em questão. Entre os modos de falha principais para barragens, pode se destacar: galgamento, *piping*, instabilidade e liquefação, obstrução do sistema de drenagem, entre outros.
- Análise dos modos de falha: nessa etapa é analisado o efeito que cada modo de falha identificado na estrutura pode impactar na sociedade e no meio ambiente.
- Avaliação da gravidade, frequência e a detecção de falhas: nessa etapa em questão, deve-se avaliar os riscos que estão associados a cada modo de falha identificado, considerando os seus efeitos, frequência de ocorrência e a capacidade de gravidade.
- Definição de ações corretivas: é preciso identificar as causas raiz dos modos de falha identificados e propor ações preventivas ou corretivas para minimizar ou eliminar os riscos associados
- Implementação e acompanhamento das ações: nessa etapa deve-se monitorar as ações corretivas propostas com o uso da Metodologia FMEA, visando a mitigação dos riscos identificados.

Após a identificação dos riscos sob os quais uma barragem está sujeita, é realizada uma matriz considerando a sua devida hierarquização, conforme apresenta a Tabela 1 e complementada pela Tabela 2. Caso seja necessário, pode ser realizada a divisão das consequências em âmbitos distintos, como por exemplo, impactos socioeconômicos e ambientais.

Tabela 1: Exemplo de uma matriz FMEA aplicada a barragens de mineração. Fonte: Adaptado de Sousa, Campello, Lima e Fusaro,2017.

FREQUÊNCIA					
	A	B	C	D	E
RISCO					
	I	II	III	IV	V
SEVERIDADE					

Tabela 2: Complementação da Tabela 1. Fonte: Adaptado de Sousa, Campello, Lima e Fusaro,2017.

SEVERIDADE		FREQUÊNCIA		RISCO
I	Leve	A	Muito improvável	Desprezível
II	Moderada	B	Improvável	Menor
III	Grave	C	Ocasional	Moderado
IV	Crítica	D	Provável	Sério

V	Catastrófica	E	Frequente	Crítico
---	--------------	---	-----------	---------

FMECA

A metodologia FMECA (*Failure Mode, Effects and Criticality Analysis*), que traduzida para o português temos “Análise do Modo de Falha, Efeitos e Criticidade”, tem como finalidade em barragens de mineração, avaliar e identificar de forma semiquantitativa os possíveis modos de falhas das estruturas. Segundo Fonseca (2018), esse valor estimado é gerado pelo produto dos índices relacionados a ocorrência, severidade e detecção do modo de falha, sendo este denominado RPN (*Risk Priority Number*), conforme a equação 2.1. Direcionado a sua aplicação para as barragens de mineração, esses índices podem ser avaliados em função do histórico e matriz de risco da estrutura. O índice de severidade (S) tem como finalidade aferir os efeitos dos modos de falhas da estrutura em questão, enquanto o índice de probabilidade de ocorrência (O) informa a frequência com que cada modo de falha acontece. Por fim, o índice de probabilidade de detecção (D) é uma forma para medir a capacidade do sistema detectar a falha antecipadamente aos danos.

De acordo com Espósito e Palmier (2013), a classificação do valor do RPN (*Risk Priority Number*) deverá seguir o critério apresentado na Tabela 3, na qual o classifica conforme a faixa de variação apresentada pelos autores.

$$RPN = S \times O \times D \quad (2.1)$$

Em que:

RPN = Número de Prioridade de Risco;

S = Índice de severidade;

O = Probabilidade de ocorrência;

D = Probabilidade de detecção

Tabela 3: Faixa de valores classificatória para o número RPN, utilizado na metodologia FMECA

Fonte: Adaptado de Espósito e Palmier, 2013.

1 < RPN < 50 Risco Aceitável	
50 ≤ RPN ≤ 120: Risco Tolerável	
RPN > 120 Risco Intolerável	

A Tabela 4, exemplifica um modelo de aplicabilidade dos índices de severidade, ocorrência e detecção utilizados para análise da metodologia FMECA, de acordo com Fonseca (2018).

Tabela 4: Exemplo de um formulário FMECA aplicado a barragens de mineração

Fonte: Adaptado de Fonseca, 2018.

Severidade		Ocorrência		Detecção	
(S)	Efeito	(O)	Probabilidade	(D)	Probabilidade
1	Muito Baixo	1	Improvável (0,1%)	1	Quase certa
2,3	Baixo	2,3	Remoto (0,1% a 1%)	2	Muito alta
4,5	Médio	4,5,6	Ocasional (1% a 10%)	3	Alta
6,7,8	Severo	7,8,9	Provável (10% a 20%)	4	Moderadamente alta
9	Muito Severo	10	Frequente (>20%)	5	Moderada
10	Catastrófico			6	Baixa
				7	Muito baixa
				8	Remota
				9	Muito remota
				10	Quase impossível

CARACTERÍSTICAS DA BARRAGEM

Para aplicação das metodologias foi elaborado uma estruturação simplificada do sistema de uma barragem de mineração, conforme apresentado na Figura 1. A partir da estruturação elaborada, para exemplificar o uso das metodologias, criou-se uma barragem de mineração hipotética onde parte dos seus elementos apresentam possíveis modos de falha que serão detalhados a seguir.



Figura 1: Estrutura do sistema, subsistemas e componentes de uma barragem de mineração hipotética.

A estrutura da barragem hipotética foi elaborada do seguinte modo:

A seção típica da barragem de mineração hipotética, suas características geológicas-geotécnicas e caracterização do estado de conservação considerados para aplicação das metodologias FMEA e FMECA, são apresentadas respectivamente na Tabela 5, Tabela 6 e Figura 2.

Tabela 5: Características Técnicas da estrutura hipotética.

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DA ESTRUTURA	
Nome da Estrutura:	Barragem Hipotética
Classificação:	Classe A
Finalidade do Barramento:	Sedimentos
Tipo de Seção:	Mista ou Heterogênea
Tipo de barragem quanto ao material de construção:	Solo Compactado/Terra Homogênea
Tipo de Fundação:	Ombreira esquerda: Solo residual de quartzo-sericita-xisto; Ombreira direita: camada de solo coluvionar de 2,50 m de espessura; solo residual de quartzo-sericita-xisto; Centro do barramento: solo aluvionar de 5,60 m aproximadamente de espessura
Curso d'água Interceptado:	() Sim () Não (X) Sim, parcialmente
Método de Alçamento	Jusante

Número de Alteamentos Previstos	1	Número de Alteamentos Realizados:	1
Volume Atual do Reservatório (m³):	6.383.094,00		
Elevação da Crista (m):	1.142,90		
Comprimento da Crista (m):	210,00		
Altura Máxima Atual (m):	47		
Método Construtivo da Barragem:	Alteamento a jusante		
Drenagem Interna:	<p>A drenagem interna é composta de dois filtros (sendo um verticalizado e outro inclinado) ligados a um tapete drenante.</p> <p>O filtro vertical está localizado a jusante do eixo da barragem inicial, enquanto o filtro inclinado faz parte do dreno invertido de inclinação localizado a jusante do alteamento da estrutura.</p>		
Drenagem Superficial:	<p>A drenagem superficial é composta por canaletas de berma ao longo do platô com declividade de 5%, direcionando as águas para as descidas d'água localizadas nas ombreiras.</p>		
ESTRUTURA VERTENTES			
Vertedouro:	<p>O sistema extravasor da barragem é constituído por um extravasor de superfície (soleira livre) em concreto localizado na ombreira esquerda com soleira posicionada na El. 1.140,55 m.</p>		

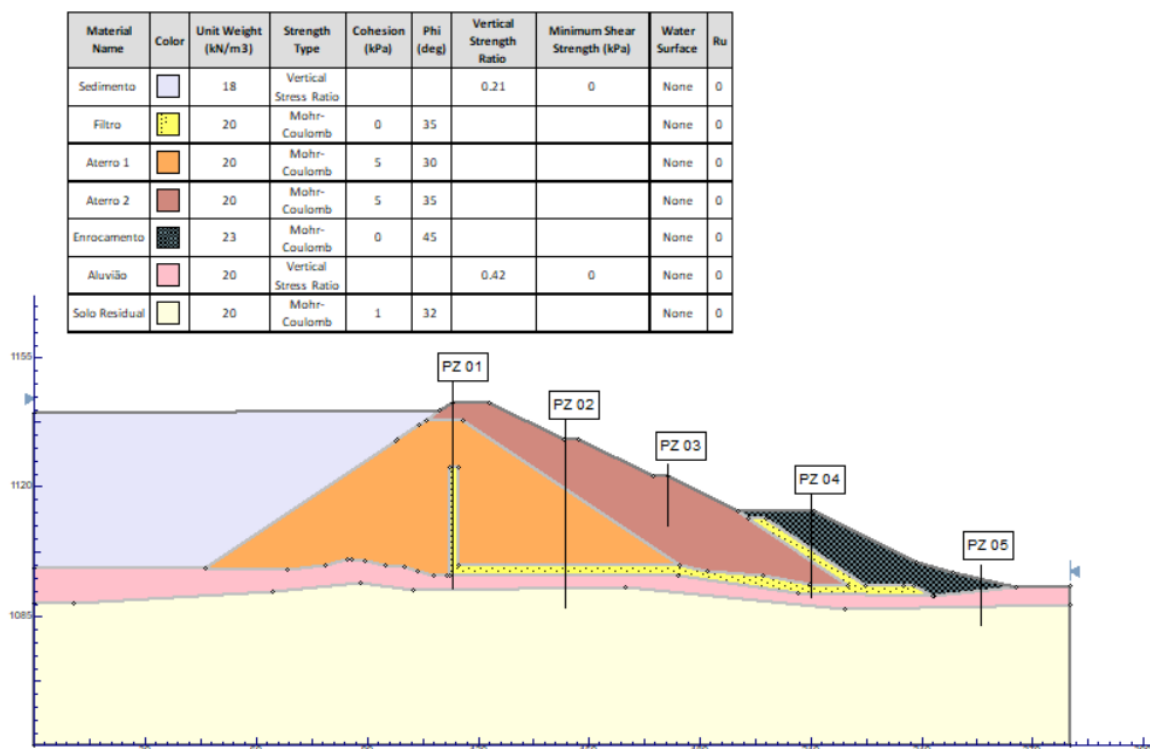


Figura 2: Geometria da seção hipotética.

Tabela 6: Caracterização do estado de conservação da estrutura.

Subsistemas/Componente	Modos de Falha	Premissas dos componentes
Estrutura global	Instabilização Erosão interna Liquefação	- A barragem apresentou um FS para a condição não drenada inferior 1,3; - Não foi identificado sinais quanto ao carreamento de finos; - A camada de fundação da estrutura é caracterizada como um material aluvionar com alto índices de finos podendo ser suscetível a liquefação.
Ombreiras	Erosão externa	- Nas regiões das ombreiras (direita e esquerda) não foram identificadas falhas geológicas-geotécnicas.
Drenagem superficial	Obstrução hidráulica	- O sistema de drenagem superficial em épocas de cheias apresentou-se obstruídos em alguns períodos.
Sistema Extravasador	Obstrução hidráulica	- As estruturas hidráulicas do sistema extravasador encontram-se em bom estado de conservação e operacionalidade.
Drenagem interna	Erosão interna Colmatação do filtro	- Não foi identificado sinais quanto ao carreamento de finos; - O filtro da estrutura apresenta-se em boas condições de funcionamento de acordo com as leituras de instrumentação.

Reservatório	Insuficiência hidráulica	- O reservatório suporta as cheias de projeto.
--------------	--------------------------	--

Parâmetros geotécnicos dos materiais empregados no maciço

Para a execução deste trabalho, foi utilizado o software Slide2 da Rocscience para avaliação da estabilidade do maciço em estudo, a fim de se entender o comportamento mecânico e hidráulico em uma situação hipotética de ruptura.

Na barragem hipotética, foram considerados 6 materiais ao longo do maciço, sendo estes constituídos de solo e rocha. Os parâmetros, peso específico, ângulo de atrito, coesão e tensão vertical, foram adotados de acordo com a experiência técnica e relacionados nas condições geológicas-geotécnicas dos materiais encontrados em solos latossolos vermelhos, pertencentes ao quadrilátero ferrífero e considerando a literatura. Para essa avaliação de estabilidade, adotou-se parâmetros não drenados para o sedimento e para o aluvião, considerando que estes apresentam comportamento contrátil frente ao fenômeno liquefação.

Análise de estabilidade

Para o cálculo de estabilidade foram adotados os métodos de Spencer, Sarma e Morgenstern-Price, com o critério de ruptura de Mohr-Coulomb e superfícies circulares e não circulares. Em sequência, foi determinado o Fator de Segurança (FS) conforme a norma ABNT NBR 13.028 de 14 de novembro de 2017 e Resolução 95, de 07 de fevereiro de 2022.

Tabela 7: Determinação de Fatores de Segurança

Fase	Tipo de Ruptura	Talude	Fator de Segurança Mínimo
Operação com rede de fluxo em condição normal	Maciço	Entre bermas	1,30
Solicitação sísmica. Com nível máximo do reservatório	Maciço e Fundações	Montante e Jusante	1,10

A Figura 3 e a Figura 6 exibem os resultados das análises de estabilidade da barragem, considerando os cenários citados anteriormente.

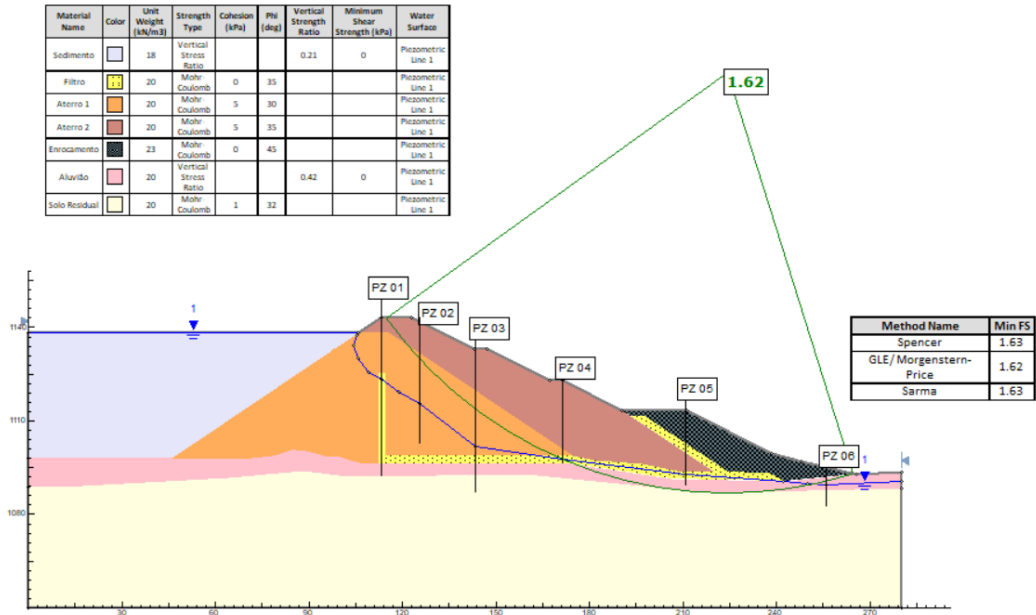


Figura 3: Cenário 1 – Barragem Hipotética – Ruptura não circular.

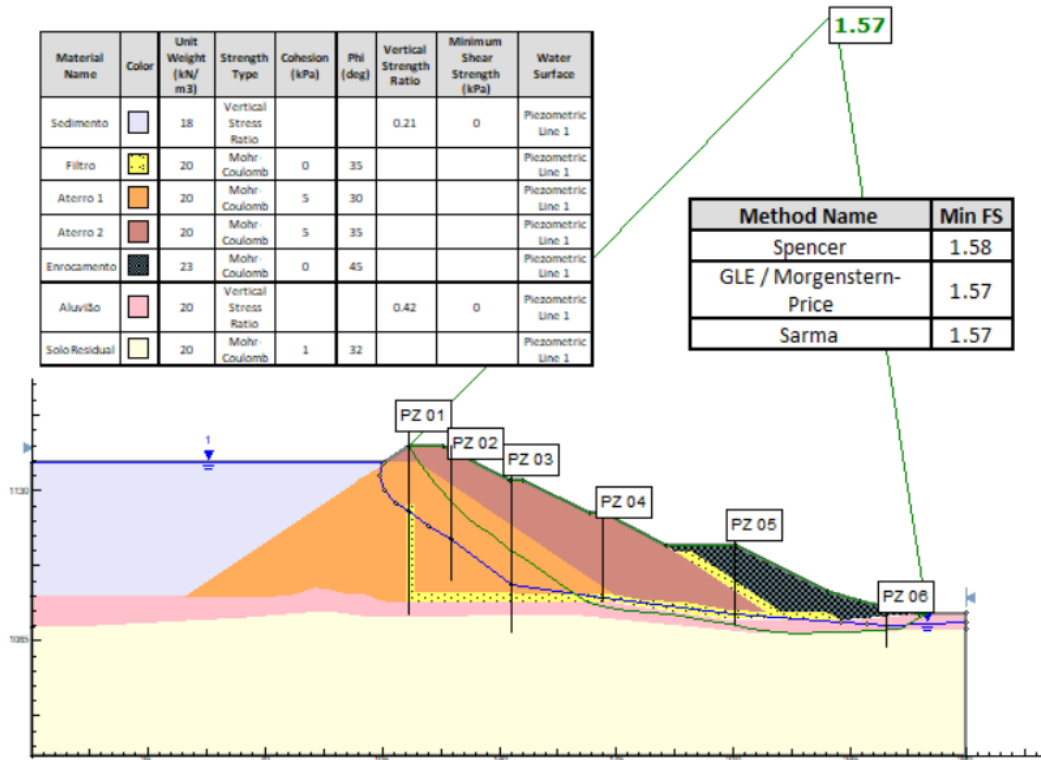


Figura 4: Cenário 1 – Barragem Hipotética – Ruptura não circular.

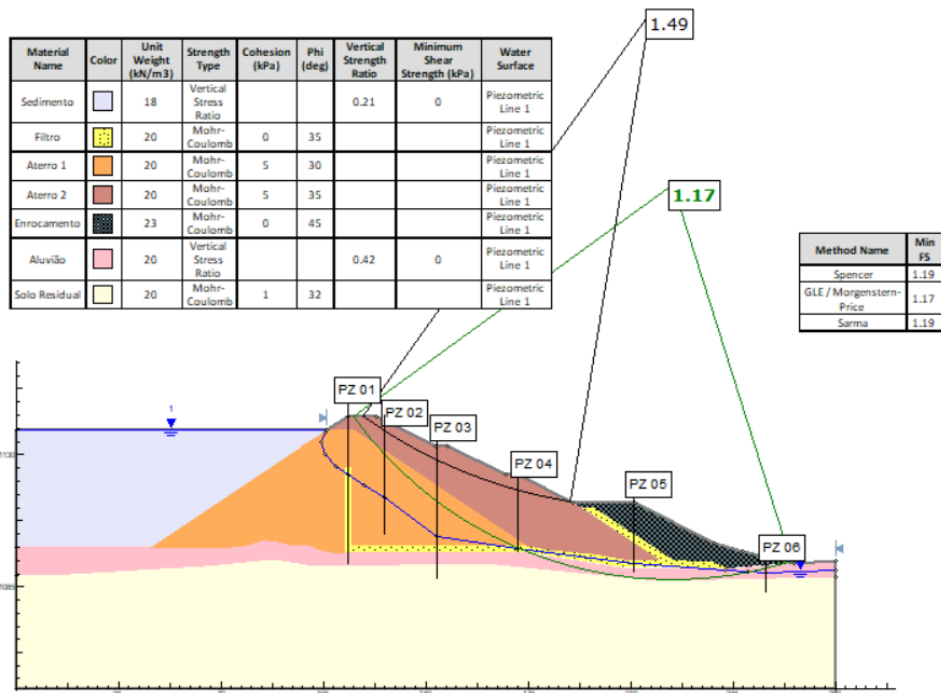


Figura 5: Cenário 3– Barragem Hipotética – Ruptura circular.

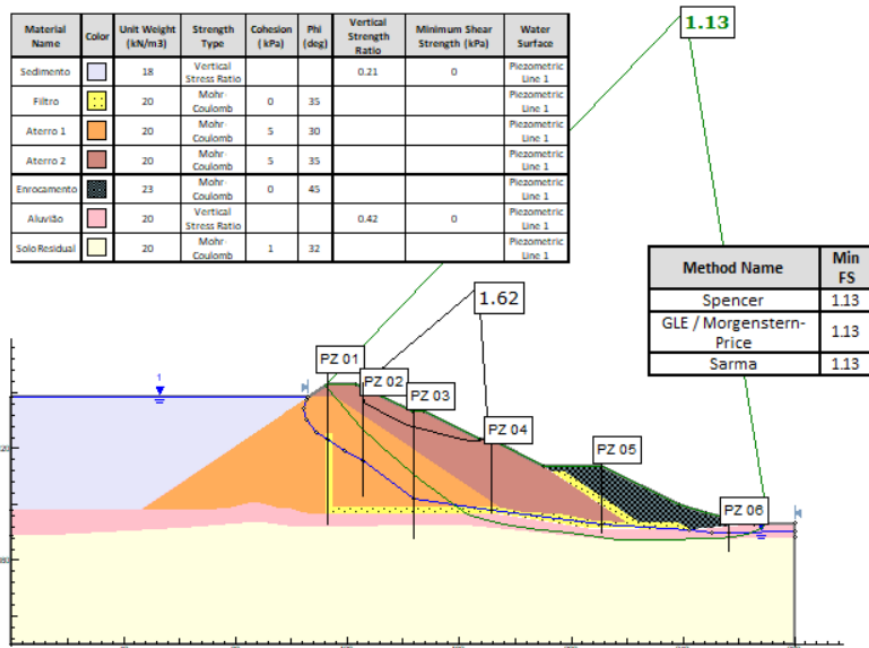


Figura 6: Cenário 3– Barragem Hipotética – Ruptura não circular.

Através dos resultados das análises de estabilidades realizados, conclui-se que a barragem atende os critérios exigidos em norma.

RESULTADOS OBTIDOS OU ESPERADOS

Visto o exposto sobre os métodos, pode-se concluir que as duas metodologias se complementam, haja vista que o FMEA realiza uma análise qualitativa e o FMECA uma análise semiquantitativa. Assim, aplicou-se ambas as metodologias a barragem de mineração hipotética apresentada anteriormente.

Dessa forma, a Tabela 8 e Tabela 9 indica, respectivamente a aplicação da metodologia FMEA considerando a estruturação apresentada na barragem hipotética anteriormente.

Tabela 8: Exemplo de um sistema de uma barragem de mineração hipotética

Sistema - Barragem			
Subsistema	Componente	Funcionalidade	Identificação
Maciço	Estrutura global	Contenção de sedimentos/rejeitos/água	Me
	Ombreiras	Apoio estrutural	Mo
Reservatório	Reservatório	Acumular sedimentos	Ra
Drenagem Superficial	Canaletas	Drenagem superficial	DSc
	Sistema extravasor	Drenagem superficial	DSs
Drenagem Interna	Filtros	Drenagem interna	DIf

Tabela 9: Modelo de matriz de risco - Impactos ambientais

FREQUÊNCIA					
RISCO	A	B	C	D	E
			Ra		
		Me	DSc		
		Mo	Dss		
			DIf		
	I	II	III	IV	V
SEVERIDADE					

Assim como o FMEA, a Tabela 10 apresenta a aplicação da metodologia FMECA, com os valores de RPN (Risk Priority Number), os quais levaram em consideração os impactos ambientais associados aos modos de falha para a estrutura hipotética. Para a classificação dos tipos de riscos, entre eles o Risco Aceitável, Tolerável e Intolerável, foi considerado as faixas dos valores de RPN (*Risk Priority Number*) apresentadas por Espósito e Palmier (2013).

Tabela 10: Modelo de matriz de risco- Impactos ambientais

NÚMERO DE PRIORIDADE DO RISCO				
Componente	S	O	D	RPN
Me	4	4	5	80
Mo	2	2	3	12
Ra	3	3	4	36
DSc	7	5	3	105
DSs	10	8	3	240
DIf	6	4	9	216

ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Após a aplicação das metodologias abordadas nesse artigo, foi possível concluir que a metodologia FMEA (Failure Mode and Effect Analysis) é um método de análise de risco analítico e uma das principais vantagens dessa metodologia aplicada a barragens, está na identificação dos potenciais modos de falhas, a fim de evitar perdas de vida, impactos ambientais e socioeconômicos. Diferentemente do FMEA, com a metodologia FMECA foi possível realizar uma análise semiquantitativa, ao estimar o risco através do valor RPN.

Para ambas as metodologias foi possível observar algumas limitações, como: possibilidade de subjetividade na avaliação dos riscos, dependência da experiência e conhecimento dos avaliadores envolvidos, necessidade de atualização constante das informações utilizadas para garantir a eficácia da análise, dependência de dados históricos para subsidiar as análises. Ressalta-se que mesmo com as limitações das metodologias, com a aplicação correta desses métodos é possível identificar os pontos de atenção nas estruturas, que podem causar algum risco, no que tange os meios sociais, ambientais, financeiros e econômicos, permitindo a elaboração de um plano de ação que auxilia no controle e prevenção dos riscos.

CONCLUSÕES

A partir da revisão bibliográfica apresentada neste artigo, pode-se concluir que FMEA e FMECA são metodologias importantes aliadas para identificar e prevenir possíveis falhas em barragens de mineração. A metodologia FMEA na análise de risco em barragens, auxilia na identificação dos principais pontos críticos associados aos componentes da estrutura em questão. Já a metodologia FMECA, permite quantificar estimativamente o risco associado.

Analisando os pontos positivos e de melhorias de cada método, foi concluído que as metodologias se complementam, dessa forma, indica-se a sua utilização em conjunto, visto que o FMEA se trata de uma análise qualitativa e o FMECA uma análise semiquantitativa.

De maneira geral, vale salientar que para o emprego de ambas as metodologias, é necessário que seja avaliado criteriosamente, todos os dados disponíveis da estrutura em questão, no quesito de histórico de anomalias, inspeções visuais, dados de instrumentação, caracterização geotécnica, entre outros. Além disso, é necessário que na equipe técnica envolvida haja profissionais experientes e que exista um controle das medidas e recomendações geradas após o emprego dessas metodologias.

Ressalta-se que a aplicação dessa metodologia para barragens de mineração deve considerar todos os dados disponíveis relacionados as investigações geotécnicas, histórico da estrutura, histórico de anomalias, inspeções visuais entre outros. Além disso, é recomendado que se avalie os riscos considerando os impactos sociais, de direitos humanos, financeiros e reputacionais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. CAMPELLO, I. C.; FUSARO, T. C.; LIMA, L. M. K.; SOUZA, T. C. Métodos de análise de risco: aplicabilidade e limitações no gerenciamento de riscos associados a barragens. 2017. II Seminário de Gestão de Riscos e Segurança de Barragens de Rejeitos (SGBR). Comitê Brasileiro de Barragens – Belo Horizonte, 15 e 16 de maio de 2017.
2. ESPÓSITO, T.; PALMIER L. R. Application of risk analysis methods on tailingsdams. Soils and Rocks. 2013. São Paulo, v. 36, n. 1, p. 97-117, jan-abr. 2013.
3. FONSECA, M. N. E. Análise dos modos de falha e efeitos (FMEA) para avaliação de um acidente em barragem de rejeitos: um evento de mineração no Brasil. 2018. Mestrado Profissional em Engenharia Industrial - Universidade Federal da Bahia, 2018.
4. SAE International. Potential Failure Mode and Effects Analysis in Design (Design FMEA) and Potential Failure Mode and Effects Analysis in Manufacturing and Assembly Processes (Process FMEA) and Effects Analysis for Machinery (Machinery FMEA). Automotive Quality And Process Improvement Committee. 2002. http://www.sae.org/technical/standards/J1739_200208 (Acessado em 04/03/2023).
5. SOUZA JÚNIOR, T.F.; MOREIRA, E.B.; HEINECK, K.S. Barragens de Contenção de Rejeitos de Mineração no Brasil. Holos, Universidade Federal do Rio grande do Sul, Ano 34, v. 5. 2018. DOI: <https://doi.org/10.15628/holos.2018.7423> (Acessado em 05/03/2023).
6. KLIMKIEVICZ, B. E. Gestão de Risco Aplicado a Obras de Barragem. 2016. Monografia de Projeto Final, Publicação G.PF-AA005/2016, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2016.
7. CAVALHEIRO, F. N. Metodologia para investigação de colmatação de filtros de barragem de terra- Estudo Piloto. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso, Bacharel em Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. 2018