

# Análise de Produtividade na Construção Civil - Estudo de Caso da Atividade de Alçamento de Barragem por meio do Método Measured Miles

**MAISA MC ALVES**<sup>1</sup>

E-mail: [maisamca90@gmail.com](mailto:maisamca90@gmail.com)

**CARMEN COUTO RIBEIRO**<sup>2</sup>

E-mail: [carmencouto@oi.com.br](mailto:carmencouto@oi.com.br)

**SIDNEA E C RIBEIRO**<sup>3</sup>

E-mail: [sidnea@demc.ufmg.br](mailto:sidnea@demc.ufmg.br)

**DANIELLE M OLIVEIRA**<sup>4</sup>

E-mail: [danielle@demc.ufmg.br](mailto:danielle@demc.ufmg.br)

**WESLEY S OLIVEIRA**<sup>5</sup>

E-mail: [wesleysdoliveira@ufmg.br](mailto:wesleysdoliveira@ufmg.br)

**MARYS L B ALMEIDA**<sup>6</sup>

E-mail: [marys@demc.ufmg.br](mailto:marys@demc.ufmg.br)

## RESUMO

O atraso na execução de obras civis de engenharia e construção é causado por vários fatores, os quais, em sua maioria, refletem na produtividade da obra. A qualificação e a quantificação da produtividade na construção civil podem ser realizadas por meio do método conhecido como “Measured Miles”, produtividade natural. Este método compara tarefas idênticas do projeto em períodos impactados e não impactados pela perda de produtividade causada por uma série de eventos de atraso da obra e baseia-se em uma extrapolação das horas reais de trabalho gastas. As barragens de rejeito são estruturas que apresentam maiores tendências às falhas se comparadas com barragens para preservação de água. Por meio da análise do método “Measured Miles”, identificou-se que, após o nivelamento das cotas, houve um aumento de 61% na produtividade dos recursos utilizados na execução do aterro compactado da estrutura construída pelo método a jusante.

## PALAVRAS-CHAVE

Alçamento. Produtividade. “Measured Miles”. Barragens da Mineração.

<sup>1</sup> Pós Graduada, Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) – BH/MG

<sup>2</sup> Professora do Departamento de Engenharia de Materiais e Construção (DEMC), Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) – BH/MG

<sup>3</sup> Professora do Departamento de Engenharia de Materiais e Construção (DEMC), Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) – BH/MG

<sup>4</sup> Professora do Departamento de Engenharia de Materiais e Construção (DEMC), Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) – BH/MG

<sup>5</sup> Pós Graduando, Engenharia de Materiais e Construção (DEMC), Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) – BH/MG

<sup>6</sup> Professora do Departamento de Engenharia de Materiais e Construção (DEMC), Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) – BH/MG

## ABSTRACT

The delay in the execution of civil engineering and construction works is caused by several factors, which, most of them, reflect in the productivity of the construction work. The qualification and quantification of productivity in civil construction can be carried out using the method known as “Measured Miles”, natural productivity. This method compares identical project tasks in impacted and non-impacted periods due to lost of productivity caused by a series of construction delay events and is based on an extrapolation of the actual work hours spent. Tailings dams are structures that present greater tendencies to failures when compared to dams for water preservation. Through the analysis of the “Measured Miles” method, it was identified that, after the leveling of the terrain elevation, there was a 61% increase in the productivity of the resources used in the execution of the compacted landfill of the structure built by the downstream method.

## KEYWORDS

Mining. Productivity. “Measured Miles”. Dams.

## 1. INTRODUÇÃO

As barragens de rejeito, maiores estruturas construídas pelo homem juntamente com as pilhas de estéril, têm a função de acondicionar, de maneira estável e segura, todo o rejeito proveniente dos processos de beneficiamento mineral, especialmente, das etapas de concentração. As atividades das barragens de rejeito merecem prudências quanto a sua execução e suas estruturas, onde em caso de falha apresentam grande potencial de ocorrência de danos sociais, econômicos e ambientais. Rupturas em barragens podem acarretar tipicamente na liberação de milhões de metros cúbicos de rejeitos, os quais são de potencial risco a saúde humana e a integridade de ecossistemas, como menciona Cardozo et al., 2020.

Cardozo et al. (2016) citam que existem três metodologias construtivas de alteamento de barragens de rejeito, denominadas de acordo com o deslocamento do eixo da barragem durante as etapas de construção, quais sejam, métodos a jusante, linha de centro e a montante (Figura1).

O método a jusante se inicia com a construção de um dique de partida, normalmente de solo ou enrocamento compactado, em que os alteamentos subsequentes são realizados para jusante do dique. Este deve ser composto por drenagem interna, compreendendo filtro vertical e tapete drenante (Duarte, 2008; Soares, 2010). A principal vantagem do método de alteamento a jusante refere-se à falta de restrições relacionadas às análises de estabilidade, da execução dos alteamentos até a altura final do barramento, uma vez que cada relevo é estruturalmente independente da disposição dos rejeitos a montante. Portanto, esse método possui maior segurança, menor probabilidade de entubamento e de rupturas horizontais (Vick, 1990). Por outro lado, barragens alteadas pelo método a jusante demandam maiores volumes de material para construção, apresentando elevados custo e área ocupada pelo sistema de contenção de rejeitos.

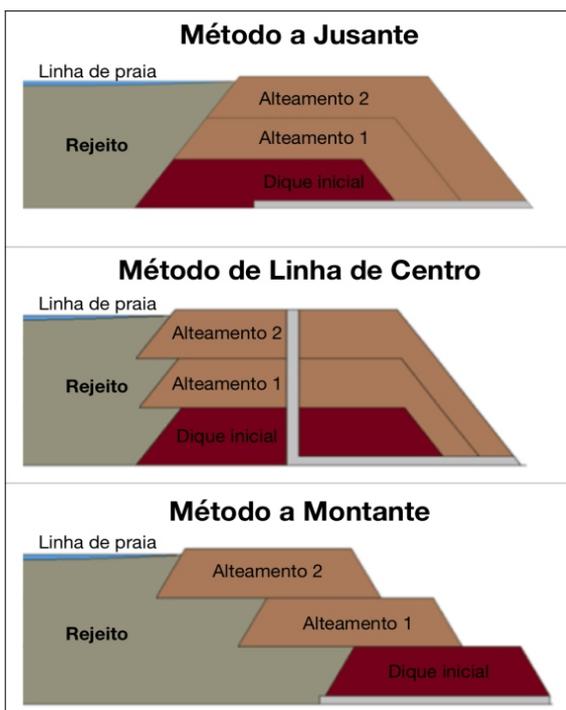
O método de alteamento por linha de centro é uma alternativa intermediária entre os métodos a montante e jusante. A estrutura é iniciada pela

construção de um dique de partida, o qual possui seu eixo coincidente com o vertical dos alteamentos. Este método abrange a segurança a jusante com o custo e velocidade do alteamento para montante (Assis e Espósito, 1995; Thomé e Passini (2018).

O método para montante consiste na construção de diques sobre as praias formadas pela decantação do próprio rejeito, deslocando o eixo da obra em direção a montante. É caracterizado pelo menor custo de construção, maior velocidade de alteamento e pouca utilização de equipamentos de terraplanagem (Thomé et al., 2018). O método possibilita dificuldade na implantação de um eficiente sistema interno de drenagem para conter o nível d'água dentro da barragem, podendo comprometer a estabilidade da estrutura, o controle tecnológico de matérias e o adensamento sob alteamentos, diferentes níveis de compactação do rejeito (Duarte, 2008; Cardozo et al., 2020).

Embora a comparação entre os métodos construtivos de barragens de rejeito seja tema complexo, devido a critérios conceituais de projeto como o sistema de drenagem, alguns trabalhos apresentam tais comparações, concluindo pela maior complexidade e suscetibilidade à falha para o método a montante, de acordo com os parâmetros de projeto envolvidos (Cardozo et al., 2020).

Figura 1 – Métodos construtivos de barragens de rejeito



Fonte: Cardozo et al., 2020

O atraso na execução de obras civis de engenharia e construção tem ocorrido com frequência no Brasil. Esta demora pode ser de responsabilidade tanto da contratada, quanto da contratante, sendo causado por vários fatores, os quais, em sua maioria, refletem na produtividade da obra.

A produtividade é uma medida da produção por unidade de tempo e, juntamente com a carga horária e a quantidade de trabalho, é um dos componentes mais relevantes do custo da mão de obra (AACE 2004). O controle da capacidade de produzir de um projeto contribui na gestão eficiente do contrato, na correção em tempo hábil do problema identificado e na recuperação das perdas decorrentes de causas externas. A ausência desse controle impossibilita ações de melhorias da produtividade na execução da obra e no fornecimento de informações necessárias ao processo de tomada de decisão dos gestores (AACE 2004; Ibbs et al., 2017).

Dentre os vários motivos de baixa produtividade na construção civil ressaltam-se os projetos básicos falhos, exigindo revisões concomitantes ao desenvolvimento das obras, as ordens de mudanças, demandando necessidade de repetir o ciclo de aprendizagem e, dependendo do momento do ordenamento, implicando em retrabalhos, fornecimento de projetos sem compatibilização, trabalhos fora da sequência executiva lógica prevista, efeito “stop-and-go” das operações, ou seja, interrupções e retomadas do trabalho, deslocamento de atividades previstas de período seco para chuvoso, falhas de gestão de pessoal, supervisão com grande equipe e/ou sem comando e falta de previsibilidade em relação às obrigações da contratante (Martins, 2014). É relevante a identificação quantitativa e qualitativa da perda de produtividade, visando mitigar a baixa eficiência produtiva durante o desenvolvimento da obra.

Os especialistas da indústria da construção podem usar seu próprio modelo de estudo para avaliar as taxas de produtividade da obra sob condições específicas. De fato, para desenvolver uma estimativa, os conhecedores avaliam essas taxas, formando um modelo de processo de produção. Para executar esse processo informal de modelagem, é necessário um método integrado, coerente e sistemático de medição e análise de produtividade. Como os resultados da produtividade são afetados por vários fatores, que funcionam juntos como um sistema de produção integrado, as taxas de produtividade podem variar consideravelmente (El-Gohary et al., 2017).

Após os últimos acontecimentos com barreiras artificiais, nota-se que a construção civil está pouco adaptada às medições, se tornando desprovida de dados que possam contribuir com informações relacionadas ao desempenho atual das barragens. Dessa maneira, o controle da produtividade se insere nessa vertente da construção não apenas como um medidor de desempenho de mão de obra, mas também como um fator benéfico ao aperfeiçoamento dos processos de execução de barreiras artificiais. Em alguns empreendimentos da construção os registros não são realizados de forma adequada, faltando o apontamento de fatores importantes que ocorrem diariamente nas obras, o que dificulta a obtenção de dados.

A análise de produtividade pelo método “Measured Miles” é amplamente aceito para o cálculo de perda de produtividade. Este método compara tarefas idênticas do projeto em períodos impactados e sem impactos para estimar a perda de produtividade causada por uma série de eventos de atraso e baseia-se em uma extrapolação das horas reais de trabalho gastas (Mikhail et al., 2019). Portanto, a

principal inovação relacionada ao citado método é a utilização do desempenho real do contrato para cálculos e não a estimativa inicialmente prevista, uma vez que compara-se a produtividade real in loco em um determinado período com a real em outro estágio (Schwartzkopf, 1995; Derek, 2011; Ibbs et al., 2017).

Nesse cenário, esta pesquisa visa investigar a produtividade na atividade de alteamento de barragem por meio do método “Measured Miles”. Para o estudo foi necessário avaliar os métodos construtivos de uma barragem, analisar os períodos de possíveis perdas de produtividade da obra por meio de levantamento de registros e, por fim, comparar os registros encontrados e a capacidade de produzir calculada para cada período.

## 2. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Os dados coletados para esta pesquisa foram obtidos por meio de documentos elaborados pelas empresas envolvidas na obra de execução da barragem, como relatórios diários de obra (RDOs). A investigação abordou a identificação do período no qual houve redução da praça de trabalho, tabelas de controle de produtividade diária, vídeos do empreendimento, informações da área de topografia para confirmação das datas coletadas nos RDOs, fotos realizadas pelos aparelhos aéreos da obra e elevações obtidas em softwares específicos. A análise in loco foi, ainda, relevante para a identificação de possível desvio de produtividade na execução da barragem.

Conforme a metodologia mencionada por Gemmel e Thommas (2016), realizou-se no presente trabalho a medida de desempenho que é a quantidade de horas despendidas para se executar determinada parcela de trabalho, a convergência de dados que está relacionada com a confiabilidade de tais informações, o cálculo da baseline

dos danos que foram aferidos, a validação da porcentagem de produção no período não impactado, o cálculo da ineficiência das horas trabalhadas e a causa - efeito e validação das análises, sendo que essa identificação começa pela revisão da curva de produtividade, verificando o período de ineficiência. Os períodos afetados precisam ser consistentes com as causas da ineficiência. Essa análise envolve identificar os motivos pelos quais a produtividade foi reduzida durante o período impactado, sendo realizado por meio de revisões de documentos da obra.

Os dados utilizados para este estudo foram referentes à barragem, na qual foi empregado método a jusante de alteamento. De acordo com proposta técnica da empresa investigada, contratada para execução da barragem, o escopo de contratação era compreendido principalmente pelas atividades de abertura de acessos e caminhos de serviço, terraplanagem/drenagem interna, tratamento de fundação, serviços topográficos, aterro compactado, dispositivos de drenagem, revestimento vegetal e instrumentação.

A abertura de acessos foi executada durante o desenvolvimento das obras, principalmente aqueles na região da fundação e implantação do vertedouro. A maioria dos acessos às áreas de serviços foram feitos por meio de vias construídas existentes, que foram melhoradas e conservadas. Os acessos construtivos interligavam as áreas de estoque e aterro e quando não mais utilizados foram removidos ao final dos trabalhos. Para construção e manutenção dos acessos foram utilizados tratores, motoniveladoras, caminhões pipas com barra aspersora e rolos vibratórios.

Os serviços topográficos necessários ao desenvolvimento das atividades, tanto das obras de infraestrutura quanto para

obras civis, foram executados por meio da utilização de estações totais computadorizadas, softwares específicos como autoCAD e topograf. Com o intuito de conformar o terreno natural às medidas geométricas do projeto de implantação da obra, foi iniciada a remoção vegetal e da camada superficial. Posteriormente, foram executadas as escavações em obediência aos elementos técnicos fornecidos pela fiscalização. Os materiais escavados da fundação, ombreiras e do canal extravasor foram lançados na área de deposição de material escavado (ADME). Para a execução da escavação foram mobilizadas patrulhas formadas por escavadeiras hidráulicas, tratores de esteira e caminhões basculantes. Após a escavação da fundação e ombreiras, correspondente ao serviço de terraplanagem, foi executado tratamento da fundação, o qual faz parte do objeto de estudo desta pesquisa.

O tratamento da fundação foi previsto de acordo com o tipo de terreno encontrado, sendo solo ou rocha. Na região de solo ocorreu remoção de todo o material solto, umedecimento e compactação da superfície com rolo compactador pesado. Na região de rocha ocorreu remoção do material grosso solto, seguido de remoção do material mais fino e tratamento de cavidades menores que 10m<sup>2</sup> com concreto de regularização. Na Figura 02 está ilustrada a limpeza da fundação com a remoção de solo. Após a conclusão da limpeza, foi realizada a execução das injeções para a fundação da barragem com as finalidades de reduzir a perda d'água por percolação, controlar a pressão d'água dentro do maciço da fundação e no contato estrutura, melhorar a resistência mecânica e as propriedades elásticas das rochas furadas e aprimorar a capacidade de suporte dos solos.

Figura 02 - Tratamento da Fundação.



Fonte: O Autor

Com a conclusão do tratamento da fundação iniciou-se a construção do maciço em núcleo laterítico, por meio da compactação do material. No início foi executado um aterro experimental com o intuito de definir espessura de camada, número de passadas, amplitude de vibração e velocidade para o tipo de equipamento proposto. O lançamento do material foi executado em ponta de aterro, para que não houvesse tráfego de equipamentos sobre camadas já compactadas. Além disso, a operação de espalhamento foi realizada de modo que fosse obtido um sistema homogêneo, tanto em relação à umidade quanto à textura e características do solo.

Em paralelo à execução do aterro compactado, foram executados os dispositivos de drenagem. A drenagem superficial é caracterizada por escadas de descida d'água em concreto, além de valetas, sarjetas e canaletas retangulares. Foram instalados, ainda, os dispositivos de instrumentação para a segurança e monitoramento do maciço, os quais consideravam medidor de vazão, piezômetro elétrico, marcos superficiais, placas de recalque e inclinômetros.

Ao concluir o alteamento da barragem é pertinente a execução do revestimento vegetal, o qual protegerá as faces dos taludes contra o impacto da chuva, contribuindo para a estruturação do solo e, evitando ainda, a

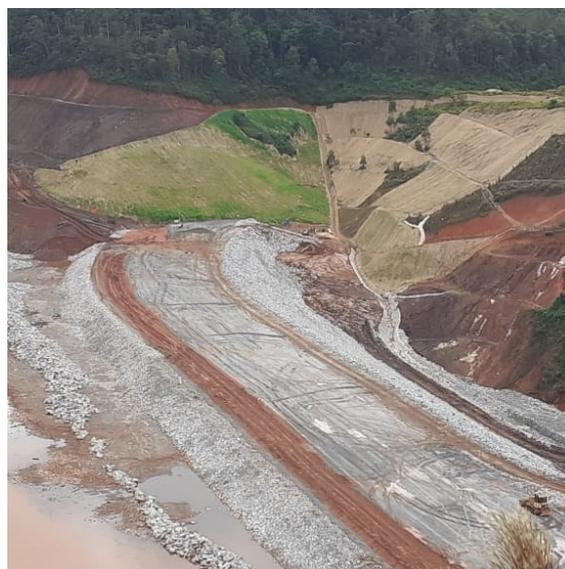
formação de sulcos e arraste de material.

Neste cenário, com a perspectiva de minimizar o atraso da obra, iniciou-se o lançamento e a compactação de laterita nas ombreiras direita e esquerda, mesmo sem a conclusão das injeções no núcleo. Dessa forma, com a sucessão de aplicação de camadas de material argiloso nas laterais da barragem, formou-se um buraco no centro dessa, reduzindo a praça de trabalho, uma vez que a área de atuação do rolo compressor era menor. Tal fato caracterizaria possível diminuição de produtividade dos equipamentos alocados na atividade de alteamento, delongando a conclusão da obra. Posteriormente, foi requisitado ao setor de planejamento as quantidades (m<sup>3</sup>) compactados em uma hora máquina, ou seja, qual a produtividade dos recursos alocados em determinados intervalos pré-estabelecidos de acordo com análise de documentos de obra.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Verificou-se que houve um atraso na execução das cortinas de injeção, uma vez que se previa um prazo total de 30 dias para se concluir a atividade, conforme apontado em proposta técnica, porém foram necessários 106 dias. Dessa forma, a etapa sucessora, que era o alteamento da barragem, ficou prejudicada. Na Figura 03 é mostrado o alteamento da barragem em estudo.

Figura 03 – Alteamento da barragem em estudo.



Fonte: O Autor

Com o atraso para conclusão da atividade de injeção, foi iniciado o lançamento e a compactação de laterita para o alteamento da barragem pelas ombreiras direita e esquerda do cut-off, resultando em um buraco no núcleo laterítico (Figura 04). Verificou-se a possibilidade de perda de produtividade dos equipamentos de compactação, uma vez que houve redução da praça de trabalho. Com a finalização das injeções, o alteamento nas ombreiras foi interrompido e iniciou-se a aplicação de laterita no núcleo da barragem, buscando nivelamento das cotas e, dessa forma, garantir a possibilidade de execução das atividades em toda a praça de trabalho. Durante 2 meses a quantidade total de laterita que foi aplicada semanalmente no cut-off da barragem correspondeu próximo de 61.300 m<sup>3</sup>.

Figura 04 – Núcleo laterítico.



Fonte: O Autor

Como o método “Measured Miles” de análise de perda de produtividade é utilizado quando é possível comparar as produtividades em um período impactado por uma condição negativa e outro em condições normais, foi extraído do relatório semanal de progresso a quantidade média de rolos compactadores utilizados na atividade de alteamento, uma vez que esse esclarece o andamento da obra. No citado documento foi identificada a quantidade de horas semanais (relacionada ao número de

equipamentos, jornada diária de trabalho (12h) e dias em atividades durante a semana (7 dias).

Na Tabela 1 estão apresentados os dados da produtividade semanal (m<sup>3</sup>/hm) do rolo compactador, com base nas quantidades de laterita aplicadas e no número de horas da utilização do equipamento.

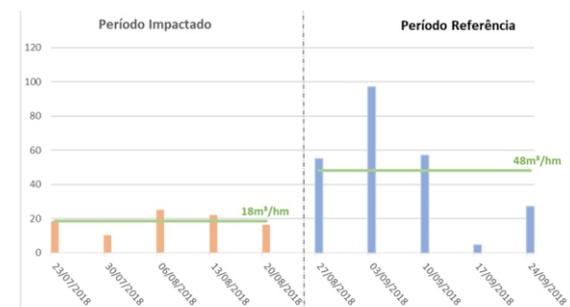
Tabela 1 – Produtividade do rolo compactador

Datas (2018)	23/07	30/07	06/08	13/08	20/08	27/08	03/09	10/09	17/09	24/09
Utilização (h)	168	168	168	168	168	168	168	168	336	336
Lateria aplicada (m <sup>3</sup> )	3106	1734	4231	3714	2730	9242	16287	9595	1573	9099
Produtividade (m <sup>3</sup> /hm)	18	10	25	22	16	55	97	57	5	27

Fonte: O Autor

Na Figura 05 está apresentada a média de produtividade em cada um dos dois períodos, o impactado negativamente e aquele em condições normais. Observou-se, então, que o primeiro apresentava uma produtividade de 18m<sup>3</sup>/hm e o segundo 48m<sup>3</sup>/hm, ou seja, uma variação de 62% devido à redução de praça de trabalho ocasionada pelo atraso na conclusão das injeções.

Figura 05 – Perda de produtividade



Fonte: O Autor

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As ausências de controle e medição durante a execução de uma obra impossibilitam ações de melhoria da produtividade dos recursos durante as atividades. Além disso, o desprovimento da construção civil em medir os trabalhos realizados dificulta a análise do desempenho da estrutura, ou seja, a execução da barragem investigada.

Nesse contexto, a utilização do método “Measured Miles” teve como finalidade estimar a perda de produtividade dos recursos durante a

operação do aterro compactado, atividade sucessora às injeções de calda, e identificar os principais fatores de degradação de produtividade.

Por meio de observação in loco, análise de documentação disponibilizada pela equipe de obra e leitura de documentos licitatórios, observou-se que houve atraso na conclusão da atividade de tratamento da fundação, especificamente na execução das injeções. Esse atraso gerou deslocamento no início da atividade de alteamento da barragem e, além disso, causou prejuízo na metodologia construtiva do aterro compactado, uma vez que houve redução da praça de trabalho.

Após o nivelamento das cotas, identificou-se um aumento de 61% na produtividade dos recursos utilizados na execução do aterro compactado da estrutura da barragem que foi alteada pelo método a jusante. Dessa forma, o método de estimativa de perda de produtividade utilizado auxiliou na obtenção de dados que podem beneficiar na gestão eficiente da produtividade dos recursos.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AACE. International Recommended Practice 25R-03 – **Estimating lost labor productivity in construction claims**. West Virginia, EUA, 2004.

ASSIS, A.P. & ESPÓSITO, T.J. **Construção de barragens de rejeitos sob uma visão geotécnica**. III Simpósio Sobre Barragens de Rejeitos e Disposição de Resíduos Industriais e de Mineração, Ouro Preto, MG, 1995.

CARDOZO, F.A.C; PIMENTA, M. M., ZINGANO, A. C. **Métodos construtivos de barragens de rejeitos de mineração** – Uma revisão. *Holos*, 32, v.08, 77-85, 2016.

CARDOZO, F.A.C; PIMENTA, M. M., ZINGANO, A. C. **Considerações a riscos geotécnicos em barragens de rejeito**. *TECNO-LÓGICA*. 24, 01-14, 2020.

DUARTE, A. P. **Classificação das barragens de contenção de rejeitos de mineração e de resíduos industriais no estado de minas gerais em relação ao potencial de risco** (Dissertação de Mestrado). Programa de Pós-graduação em saneamento, **Meio Ambiente e Recursos**

**Hídricos**. Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais, Brasil, 2008.

DEREK, N. **The analys and valuation of disruption**. Hill International – The Global Leader In Managing Construction Risk, 1-31, 2011.

EL-GOHARY, K.M.; AZIZ, R.F.; ABDEL-KHALEK, H.A. **Engineering approach using ANN to improve and predict construction labor productivity under different influences**. [\*Journal of Construction Engineering and Management\*, 143, 1-10, 2017.](#)

GEMMEL, R. J; THOMMAS, R. **The measured mile: How to conduct the analysis**. Thomson Reuters. Austrália 2016.

HUMPHREYS, K. K. (Ed.), **Jelen's cost and optimization engineering**. Third Edition, McGraw-Hill, Inc., New York, 1991.

IBBS, W.; CHITTICK, J. **Practical ways to identify measured miles**. *Journal of Legal Affairs and Dispute Resolution in Engineering and Construction*, 9, 1-8, 2017.

MIKHAIL, C.A.; SERAG, E. **Quantifying the delay from lost Productivity**. *Journal of Legal Affairs and Dispute Resolution in Engineering and Construction*, 11, 1-10, 2019.

MARTINS, G. M. **Produtividade na construção**. 2014. Disponível em: <http://www.hormigon.com.br/publicacao/impr-odutividade-na-construc%CC%A7a%CC%83o/>. Acesso em 25 abr. 2019

SCHWARTZKOPF, W. **Calculating lost labor productivity in construction claims**. *The Construction Lawyer*, 15, 1995.

SOARES, L. **Barragem de rejeito**. CETEM – Centro de Tecnologia Mineral, Ministério da Ciência e Tecnologia. 5ª edição, 828-896, 2010.

THOMÉ, R; PASSINI, M. L. **Barragens de rejeitos de mineração: características do método de alteamento para montante que fundamentaram a suspensão de sua utilização em Minas Gerais**. *Ciências Sociais Aplicadas em Revista*. UNIOESTE/MCR, 18, 49-65 2018.