

# INTRODUÇÃO AO PROJETO DE ESTRADAS EM MINERAÇÃO

PARTE I

Por **Roger Thompson<sup>(1)</sup>, Rodrigo Peroni<sup>(2)</sup>, Alex Visser<sup>(3)</sup>**

Tipicamente, a operação de mineração a céu aberto consiste em movimentar minério para usinas de beneficiamento e material não econômico para depósitos de estéril ou estoques, onde estradas de transporte desempenham um papel crítico e central para uma mineração segura, eficiente e econômica. A movimentação de material é, via de regra, feita por veículos que variam de caminhões convencionais rodoviários a caminhões basculantes fora da estrada (OTR).

No caso da mineração a céu aberto, a economia de escala gerou um aumento na carga útil dos caminhões de transporte ao longo dos anos. Com o aumento do tamanho dos equipamentos, o desempenho da estrada pode ser comprometido, resultando em custos totais excessivos para o usuário, muitas vezes percebido diretamente como um aumento no custo por tonelada transportada, mas também indiretamente como taxas reduzidas de produção, vida útil do veículo e dos seus componentes. Como os caminhões de grande porte predominam, é interessante considerar a estrada de transporte como um ativo, assim como os próprios veículos que usam a estrada. O conceito de estrada de mineração tem várias definições, dependendo da classe de veículo que usa a estrada, dos limites de carga sobre roda ou eixo e do próprio projeto da estrada. Alguns tipos básicos de estrada de transporte podem ser definidos com base na aplicação e no tipo específico de caminhões associados a ela, como por exemplo:

## **ESTRADAS PÚBLICAS;**

### **Estradas pavimentadas;**

- Combinações convencionais de caminhões e reboques
- Caminhões rodoviários simples, duplos ou triplos, com capacidade <120t

### **Estradas não pavimentadas, adicionalmente;**

- Trens B-double, B-triplos e Quad (com opção de trailer) <170t de capacidade.

## **FORA DE ESTRADA (NÃO PAVIMENTADA) E NA CAVA;**

- Operações de pequeno porte e construção civil - caminhões basculantes articulados (ADTs), capacidade <75t
- Trens rodoviários personalizados com capacidade de transporte > 200t

- Caminhões de basculamento traseiros (RDT's) e caminhões de basculamento de fundo (BDT's)

Muitos conceitos de engenharia rodoviária podem ser adaptados ao projeto, construção e gerenciamento de estradas de minas. No entanto, diferenças significativas nas cargas aplicadas, nos volumes de tráfego, na qualidade e na disponibilidade do material de construção, juntamente com a vida útil do projeto e as considerações de custo do usuário, indicam que uma solução de projeto personalizada é necessária. O baixo desempenho de uma estrada afetará diretamente a segurança operacional e o resultado econômico, já que em torno de 50% dos custos de mineração a céu aberto podem ser atribuídos a custos de transporte, pois a mineração depende de estradas bem projetadas, construídas e mantidas (Thompson e Visser, 1999). A maioria dos operadores de minas concorda que existe uma forte relação entre estradas bem construídas e mantidas e operações de mineração seguras e eficientes. No entanto, as estradas de mineração são frequentemente vistas como componentes "não essenciais" do processo de mineração e, como resultado, as operações de mineração podem não considerar os padrões apropriados de projeto de estradas, construção, operação e gerenciamento de manutenção (Keckojevic et al, 2007).

A construção de estradas sem padrões de projeto, de gestão operacional e usando abordagens empíricas pode até resultar em estradas seguras e economicamente adequadas - mas a curva de aprendizado é lenta, onerosa e arriscada durante o processo. Esta abordagem não é apropriada para uma compreensão do processo envolvido no projeto de estradas e, mais importante, se o desempenho ou segurança da estrada estiver abaixo do padrão, seja ela a causa ou consequência da condição insegura e/ou existam deficiências de projeto que contribuam para um desempenho ruim da estrada ou à ocorrência de um acidente (como causa raiz ou fator associado) será problemático. Uma abordagem específica para uma finalidade (ad-hoc) ou empírica, para a concepção de estradas de transporte, é geralmente insatisfatória porque tem o potencial de excesso de custos, tanto de construção como operacionais, devido a:

- Superdimensionamento de especificação, especialmente no caso de estradas de baixo volume e curto prazo, onde o efeito

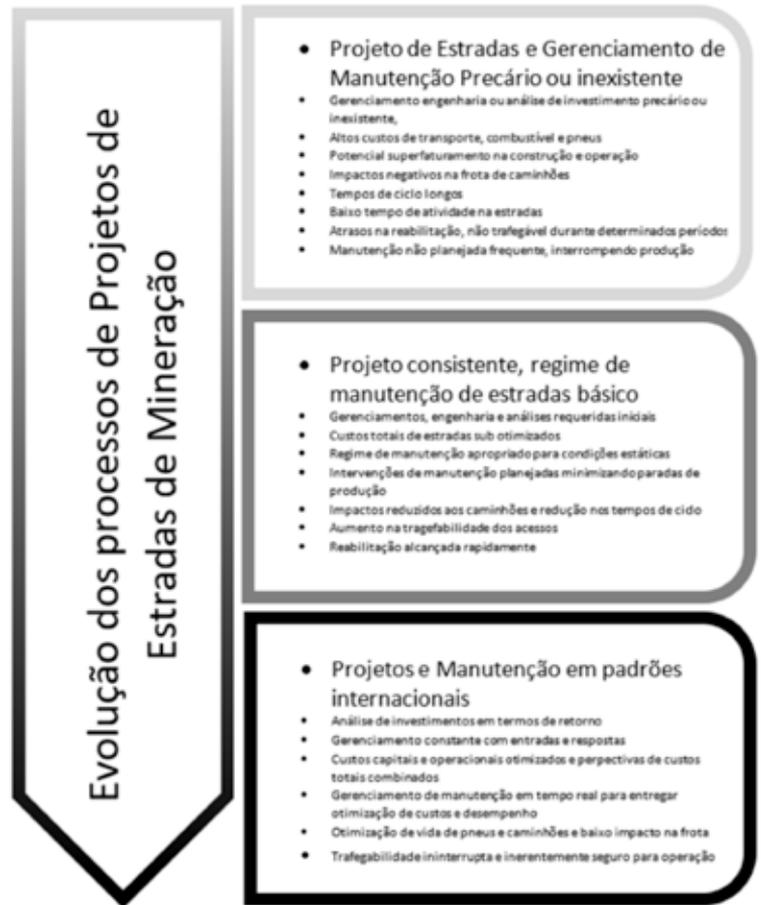
da resistência ao rolamento, embora minimizado, não contribui significativamente para reduzir os custos totais na malha de estradas da mina devido ao maior custo de construção; ou

ii. Subdimensionamento do projeto e construção das estradas, resultando em falhas prematuras; custos operacionais excessivos; perda de produtividade e, no caso de estradas de longo prazo e alto volume de tráfego, altos custos advindos dos efeitos indesejáveis da resistência ao rolamento. As estradas ruins costumam demandar intensa manutenção, chegando a afetar até mesmo as estradas bem construídas, devido ao excesso de manutenção demandado nessas estradas para resgatar os requisitos de conservação requeridos. Consequentemente, o projeto da rodovia e seus processos de gerenciamento de desempenho e manutenção devem ser integrados ao processo de gerenciamento dos sistemas de transporte de minas.

A Figura 1 ilustra a evolução do projeto e gerenciamento de estradas de transporte em termos de um sistema de gerenciamento de ativos em evolução.

À medida que a tonelagem aumenta e os caminhões de transporte maiores são implantados, não apenas os custos de manutenção de estradas existentes com projetos inadequados aumentam, como também os custos de operação e manutenção de veículos aumentam proibitivamente. Formalizar a abordagem do projeto de estradas de mineração permite que as operações de mineração sejam totalmente beneficiadas fornecendo:

- i. Uma estrada segura e de classe mundial para todos os usuários da estrada;
- ii. Custos operacionais dos veículos mais baixos, como resultado da boa qualidade da estrada, levando a tempos de ciclo menores e, portanto, maior produtividade e menor custo por tonelada;
- iii. Menos estresse na transmissão, nos pneus, no chassi e na suspensão, resultando em maior utilização de ativos (maior disponibilidade) e vida útil dos componentes;



**Figura 1:**  
**Evolução do projeto e gerenciamento de estradas de mineração**

Fonte:  
Thompson et al., 201

iv. Ótimo desempenho a um custo mínimo por tonelada transportada para a frota de caminhões e menor investimento de capital.

Para que esses requisitos sejam atendidos de forma completa e com boa relação custo-benefício, a abordagem ao projeto de estradas de mineração precisa considerar e acomodar a variedade de caminhões de transporte disponíveis para vários tipos e tamanhos de operações de mineração.

Na segunda parte deste artigo, os autores apresentarão os conceitos de projeto de estradas de transporte, abordando os requisitos geométricos, estruturais, funcionais e de gerenciamento de manutenção para um desempenho adequado. ■

**Obs.: Continua na edição 80 da revista In the Mine**

(1) Roger Thompson: Mineravia Consulting – Australia (2) Rodrigo Peroni: Professor Associado Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Brasil (3) Alex Visser: Professor Emérito University of Pretoria – South Africa

Kaufman, W.W. & Ault, J.C. (1977) Design of Surface Mining Haulage Roads – a Manual. U.S. Department of Interior, Bureau of Mines, Information Circular 8758.  
Kecojevic, V.J., Komljenovic, D., Groves, W. & Radomsky, M. (2007) An analysis of equipment related fatal accidents in US mining operations: 1995–2005. Safety Science, 45, 864–874.  
Tannant, D.D. & Regensburg, B. (2001) Guidelines for Mine Haul Road Design. Edmonton, Canada: School of Mining and Petroleum Engineering, University of Alberta.  
Thompson, R.J. (1996) The design and maintenance of surface mine haul roads. PhD Thesis, University of Pretoria, South Africa.  
Thompson, R.J. & Visser, A.T. (1999) Management of Unpaved Road Networks on Opencast Mines: Transportation Research Record (TRR) 1652, Transportation Research Board of the National Academies, Washington, DC, USA. pp. 88–97.  
Thompson, R. J., Peroni, R., Visser, A. T. (2019) Mining Haul Roads – Theory and Practice. CRC Press, London. 290p.