

Um Estudo Comparativo entre os Modais Ferroviário e Dutoviário para Transporte do Minério de Ferro: Uma análise à luz dos componentes logísticos operacionais

Edra Resende de Carvalho (Universidade do Estado do Pará) edraresende@gmail.com

Leonardo dos Santos Lourenço Bastos (PUC-Rio) lsbastos@aluno.puc-rio.br

André Cristiano Silva Melo (Universidade do Estado do Pará) acsmelo@yahoo.com.br

Denilson Ricardo de Lucena Nunes (Universidade do Estado do Pará) denilson.lucena@gmail.com

Vitor William Batista Martins (Universidade do Estado do Pará) vitor_engenharia@hotmail.com

Resumo:

A escolha do melhor modal a ser utilizado no transporte de cargas vem sendo motivada pela crescente necessidade de diferenciação competitiva entre as empresas. Nesse caso, a melhor maneira de se obter vantagem competitiva é tomar decisões estratégicas que tenham impacto diretamente nos custos de transporte, um dos que mais contribuem para os custos totais, impactando a eficiência do sistema logístico. Assim, o processo de seleção do melhor modal a ser utilizado, levando em conta características de desempenho operacional, torna-se uma atividade de extrema importância. Nesse contexto, o presente artigo teve por objetivo realizar uma análise comparativa dos modais de transporte ferroviário e dutoviário na cadeia de produção do minério de ferro no Estado do Pará e em Minas Gerais, utilizando como objetos de estudo a Estrada de Ferro Carajás e o Mineroduto Germano-Ubu. Com isso, realizou-se a caracterização dos componentes logísticos operacionais de cada um deles, bem como a análise e comparação de seus desempenhos nos critérios de seleção modal. Os resultados apontaram um desempenho equivalente entre ambos, visto que a ferrovia apresentou melhor desempenho em velocidade, capacidade e disponibilidade, enquanto o mineroduto apresentou destaque quanto a confiabilidade, frequência e também sua disponibilidade.

Palavras chave: Transporte Ferroviário, Transporte Dutoviário, Mineroduto, Minério de Ferro, Seleção Modal.

A comparative study between Railways and Pipelines for the Transportation of the Iron Ore: An analysis based on the logistical operational drivers

Abstract

The selection of the best transportation modal to be used in cargo transportation is being driven by the increasing need for competitive differentiation among companies. In this case, the best way to obtain competitive advantage is to make strategic decisions that have a direct impact in transportation costs, one of which contribute the most with total costs, impacting the logistics system's efficiency. Thus, the process of selecting the best transportation modal to be used turns to be of extreme importance, which takes into consideration operational performance characteristics. In this scenario, this article's objective is to perform a comparative analysis of the transportation modals railway and pipeline in the iron ore production chain in the State of Pará and Minas Gerais, utilizing as study objects the Estrada de Ferro Carajás (railroad) and the Germano – Ubu (pipeline). Hence, it was performed a characterization of the operational logistics components in each system, as well as their performance analysis and comparison considering modal selection criteria. The results pointed an equivalent

performance between both systems, since the railroad presented a better performance in speed, capacity and availability, while the pipeline were highlighted by its reliability, frequency, and also availability.

Key-words: Railroad, Pipeline, Iron Ore, Ore Pipeline, Modal Selection.

1. Introdução

O Brasil foi o terceiro maior produtor de minério de ferro do mundo em 2013 (BGS, 2012; USGS, 2013; COELHO *et al.*, 2016). Segundo o último relatório anual divulgado pelo Instituto Brasileiro de Mineração (IBRAM, 2015), a Produção Mineral Brasileira (PMB) em 2014 foi de US\$ 40 bilhões, tendo como estimativa para 2015 o valor de US\$ 38 bilhões. O IBRAM declara que esse decréscimo foi causado pela redução nos preços internacionais das *commodities* minerais e pela queda da atividade mineral no mundo.

No entanto, esse declínio não significou diminuição da produção do minério no Brasil (IBRAM, 2015). Dentre as atividades industriais, a atividade extrativa mineral apresentou crescimento em 2015, cerca de 3,9%, o que impulsiona principalmente o aumento da produção de minério de ferro (DNPM, 2015). Mesmo que a queda no preço médio das exportações de minério de ferro venha causando uma redistribuição e aumento da percentagem de participação relativa das demais substâncias exportadas pela Indústria Extrativa Mineral Brasileira (IEM), este produto ainda é responsável por grande parcela do total exportado, cerca de 61,3% no segundo semestre de 2015, o que contribuiu de certa forma para que a deterioração do saldo comercial da IEM não ocorresse de forma mais acentuada (DNPM, 2015).

No Brasil, os Estados do Pará e de Minas Gerais são considerados as principais zonas produtoras do minério de ferro no Brasil, visto que o saldo da balança mineral de cada um desses respectivos Estados, em 2014, foi responsável por sustentar mais de 70% do superávit comercial. Mesmo em um ano no qual o preço das *commodities* está em queda, o setor mineral conseguiu sustentar a balança comercial evitando um cenário ainda pior (IBRAM, 2015). Nestes estados, tem-se destaque para os municípios de Parauapebas (PA) e Mariana (MG), nos quais se localizam, respectivamente, a Estrada de Ferro Carajás (EFC) e o Mineroduto Germano-Ubu, principais modais utilizados para o transporte de minério de ferro.

O modal ferroviário caracteriza-se pela capacidade de transportar grandes quantidades e volumes de carga com baixos custos e com elevada eficiência energética, principalmente em médias e longas distâncias, apesar de altos investimentos para instalação, operação e manutenção de recursos (BALLOU, 1995; PADULA, 2008; CAMPOS, 2010). Como alternativa, as dutovias são recomendadas à movimentação de bens com fluxo constante e demandas localmente fixas, apesar de também ser considerado lento, ininterrupto e silencioso, o que estabelece uma conexão estável entre fontes e destinos, apresentando grande potencial de expansão e crescimento no setor de transporte de cargas (VAZ, 2005).

No contexto de ampliação do mercado, da oferta, da competitividade dos produtores e da necessidade de diminuir custos simplificando processos, o tipo de transporte a ser considerado se mostra um fator de impacto direto no preço e na qualidade do produto, visto que o transporte de carga é responsável por cerca de dois terços dos custos logísticos (SILVA, 2015). Devido o minério de ferro ser considerado uma *commodity*, apresenta a característica de ser transportado em altas quantidades por distâncias relativamente longas, entretanto, a matriz de transportes de carga brasileira prioriza o modal rodoviário, o qual apresenta maiores

custos logísticos. Com isso, um dos principais meios de transporte utilizados são ferrovias e/ou dutovias as quais oferecem redução de custos na cadeia logística por meio de economias de escala e a alta quantidade comercializada do minério (SANTOS; MILANEZ, 2015).

Com isso, este artigo objetivou realizar um estudo comparativo entre os modais de transporte atualmente utilizados na cadeia produtiva do minério de ferro, ferroviário e dutoviário, por meio da caracterização dos componentes logísticos operacionais de cada modal e da avaliação de critérios de seleção modal. Para tanto, foram utilizados como parâmetros dados da Estrada de Ferro Carajás, no Pará e Maranhão, e do Mineroduto Germano-Ubu, em Minas Gerais e Espírito Santo. A análise comparativa objetivou oferecer parâmetros e informações específicas desses dois modais, para a identificação dos principais elementos que compõem a distribuição e contextualização destes no cenário da produção brasileira de minério de ferro.

O presente artigo foi organizado da seguinte forma: a Seção 1 apresentou uma breve introdução e justificativa à problemática em questão; a Seção 2 constitui-se de uma revisão bibliográfica dos principais assuntos abordados na pesquisa: transporte ferroviário e dutoviário, cadeia de suprimentos e componentes logísticos, e critérios para avaliação e seleção modal; a Seção 3 descreveu o procedimento metodológico utilizado; a Seção 4 contém os resultados alcançados, ou seja, a caracterização e análise comparativa entre os modais ferroviário e dutoviário no transporte de minério de ferro. As considerações finais são encontradas na Seção 5.

2. Referencial Teórico

Nesta seção foram descritas as principais características dos modais ferroviários e dutoviários, assim como sua relação com o transporte do minério de ferro. Em seguida, foram caracterizados os componentes logísticos dentro do contexto da cadeia de suprimentos e os principais critérios de seleção modal considerados por este estudo.

2.1. Transporte Ferroviário

De acordo com Vieira (2009), uma ferrovia é composta principalmente pelos elementos: via permanente, material rodante, sinalização, redes de comunicação, pátios, terminais e instalações de reparo e manutenção. A via permanente é a via na qual o trem circula, composta por trilhos, dormentes, lastro, sub-lastro e sub-leito, fixações e placas de apoio que unem os trilhos aos dormentes. Material rodante é a denominação dada ao veículo que circula sobre a via férrea, constituindo locomotivas, unidades elétricas, carros e vagões (RATTON NETO, 2006; VIEIRA, 2009).

A sinalização ferroviária é responsável pelo Controle de Tráfego Centralizado, que controla a circulação e segurança dos trens. As redes de comunicação são responsáveis por realizar a comunicação entre trens e a parte de controle destes. Os pátios ferroviários podem ser terminais, quando estão localizados na extremidade do sistema, ou intermediários, quando estão entre as extremidades, nos quais acontecem as operações relacionadas com a movimentação de carga e descarga dos vagões. Por fim, as instalações de reparo e manutenção dizem respeito à parte responsável pela manutenção preventiva e corretiva dos componentes ferroviários.

Outro elemento determinante na operação ferroviária é a bitola, a qual corresponde à distância entre as faces internas dos boletos dos trilhos. Pode ser larga, com tamanho superior ao padrão internacional de 1,435 m, ou estreita, quando é inferior a 1,425 m, e no Brasil, a bitola larga mede 1,60 m e a estreita, 1 m. A bitola pode determinar a capacidade que permite maior capacidade de tráfego, maiores velocidades, menores resistências do traçado, consequente das condições técnicas mais leves e que influem extraordinariamente na despesa de custeio. Já a

bitola estreita permite curvas com raios mínimos menores, possibilitando traçados mais sinuosos (LANG, 2007).

No Brasil, há cerca de 29.165 Km de extensão ferroviária com as operadoras reguladas pela Agência Nacional dos Transportes Terrestres (ANTT, 2015; SILVA, 2015). Além disso, o minério de ferro se caracteriza pelo transporte de carga adequado para médias e grandes distâncias, com custo de transporte baixo, apesar de um investimento relativamente alto na sua instalação, sendo o minério de ferro e o carvão mineral as principais cargas transportadas pelas ferrovias, com um crescimento de movimentação de 3,14%, entre 2013 e 2014, contra um crescimento do total geral movimentado de 2,63% de acordo com a Agência Nacional do Transporte Ferroviário (ANTF, 2014)

No que diz respeito ao transporte do minério de ferro por ferrovias, este geralmente ocorre com os trens movimentando vagões em agrupamentos, denominados Lotes, que possuem o mesmo tamanho. Uma locomotiva possui uma quantidade fixa preestabelecida de vagões, que permanecem unidos durante toda a viagem, entre pontos de carga e descarga. O número de lotes transportados por trem varia de um a três, dependendo do tipo de trem. Depois do carregamento dos vagões, é necessário decidir entre operar trens diretamente da origem ao destino, ou executar manobras de formação (combinação de trens), dando origem a trens maiores (CAMPOS, 2010).

2.2. Transporte Dutoviário

De acordo com a CNT (2016), a participação do modal dutoviário no transporte de cargas é de 4,2%, com 33,3 milhões de TKU (toneladas por quilômetro útil). Entretanto, esse modal vem se mostrando vantajoso na movimentação de grandes volumes de cargas de baixo valor unitário, como granéis, líquidos e gasosos. Dependendo do tipo de produto transportado, o sistema pode ser classificado em: oleodutos, gasodutos, aquadutos e minerodutos. No caso do mineroduto, o sólido granulado é transportado misturado com um líquido, geralmente água (CNT, 2012; GOMES, 2012). Os principais componentes de um mineroduto são: tanques de abastecimento com agitadores; estação de bombeamento com bombas centrífugas e de deslocamento positivo; tubulação de transporte do concentrado; e em alguns casos, estações de monitoramento de pressão e estações intermediárias de válvulas que melhoram a operação do mineroduto (GOMES, 2012).

Os custos fixos de construção da malha dutoviária e os gastos com sistemas de bombeamento e terminais de captação são altos. Em 2004, o custo de transporte deste modal chegou a R\$ 2,1 bilhões (LIMA, 2006; PACHECO, 2008). Entretanto, algumas características deste modal acabam compensando custos e o tornando mais atrativo: as tecnologias utilizadas – gravitacional e por bombeamento – consomem menos energia; o processo de carga e descarga é simplificado; há baixa necessidade de armazenamento, gastos com manutenção, ruídos e riscos associados às cargas transportadas – visto que o que se move é somente a cargas, não o meio de transporte em si (CNT, 2012). Em uma caracterização exposta por Silva (2015), o modal dutoviário possui maior confiabilidade e frequência entre os modais, devido à variabilidade percentual no tempo de entrega ser mínima e seu funcionamento ser contínuo. Por outro lado, este modal é o menos veloz, com menor capacidade e disponibilidade, devido ao fato de ser mais especializado, transportar menor variedade de produto e por estar presente em, relativamente, poucas regiões.

A malha dutoviária brasileira que transporta petróleo, álcool, gás e produtos químicos diversos é de 22.000 km de extensão (CHAVES, 2015). A malha de transporte de minérios em geral é consideravelmente menor. Segundo Souza Filho (2007), o Brasil possui cerca de 446 dutos, subterrâneos ou terrestres. Desse total, 337 dutos são voltados ao transporte de

petróleo e derivados. A rede de minerodutos em operação é pequena, destacando-se, no Pará, dois dutos para transporte de caulim e um para o de bauxita; e em Minas Gerais, dois para o minério de ferro e um para movimentação de fosfato. Hoje, existem mais quatro minerodutos voltados ao transporte de minério de ferro em fase de licenciamento ambiental e construção em Minas Gerais e na Bahia (BRANDT, 2010; COELHO, 2012).

2.3. Cadeia de Suprimentos e Componentes Logísticos

O conceito de cadeia de suprimentos corresponde ao conjunto de processos necessários para a obtenção e agregação de valor a materiais, a partir da demanda, sobretudo nas suas disponibilidades, no lugar e no momento certos (BERTAGLIA, 2009). A cadeia de suprimentos é constituída por fornecedores, centros de produção, depósitos, centros de distribuição e varejistas, matéria-prima, estoques em processo e produtos acabados, os quais fluem entre instalações (SIMCHI-LEVI *et al.*, 2003).

Para mensurar e analisar o desempenho dos sistemas logísticos, Alencar e Melo (2012), estabelecem que a tomada de decisão sobre estes sistemas deve ter como base alguns componentes ou critérios de desempenho, tanto a nível operacional quanto a nível estratégico. Do ponto de vista operacional, os componentes logísticos são: Instalações, Estoques, Transportes e Informação; e, no âmbito estratégico: Custos e Nível de serviço. Melo e Alencar (2012) ainda afirmam que os componentes estratégicos são diretamente influenciados pela relação ou arranjo entre os componentes operacionais. As decisões acerca dos componentes logísticos contribuem diretamente para a definição do desempenho logístico de um determinado empreendimento (CHOPRA; MEINDL, 2011). Dessa forma, descrevem-se os componentes logísticos operacionais considerados neste estudo (ALENCAR; MELO, 2012):

- a) Instalações: São pontos na rede logística que recebem fluxos de produtos, os quais podem ficar parados temporariamente para serem transformados ou somente passar por ela antes de chegarem ao seu destino (BALLOU, 2001). Podem corresponder a fábricas, armazéns, operações de *cross-docking*, entre outros (BOWERSOX, CLOSS, COOPER, 2007). Decisões sobre instalação conferem, principalmente, a sua localização e disposição;
- b) Estoques: Elementos reguladores entre transporte, processamento e fabricação. Chopra e Meindl (2011) estabelecem agregação de valor de tempo para os estoques, constituindo uma importante ferramenta para alcance de níveis de serviço aceitáveis ao permitir a disponibilidade de bens ao cliente quando necessário, o que potencializa as compensações de custos adicionais com produção e gargalos intermediários em etapas de processamento;
- c) Transportes: Correspondem à movimentação e posicionamento dos estoques, o que pode ser efetuado de várias formas e rotas, com aspectos de desempenho relacionados a custos, velocidade, segurança, entre outros (BOWERSOX; CLOSS; COOPER, 2007). Os transportes agregam valor de lugar aos produtos, alocando os recursos de forma a satisfazer à eficiência da empresa e à disponibilidade de estoques. É possível movimentar recursos na cadeia de suprimentos de diversas formas, considerando as opções de modais disponíveis em cada contexto: hidroviário (oceanos, mares, rios, lagos), ferroviário (ferrovias), dutoviário (dutos), rodoviário (rodovias) entre outros, sendo a decisão de escolha mais efetiva, definida pela análise das vantagens e desvantagens de infraestrutura, da quantidade escoada, dos canais logísticos existentes, da confiabilidade de entrega, dos custos de movimentação etc. (BERTAGLIA, 2009);
- d) Informação: Tem a função de integrar as bases de dados referentes a todos componentes logísticos, tanto operacionais quanto estratégicos, a mercado e suas peculiaridades, a insumos,

clientes e a concorrentes. O melhor entendimento destes fluxos de informações permite identificar e definir parâmetros de desempenho aos processos, ou seja, indicadores sobre o que realmente agrega valor e sobre o que não agrega (BERTAGLIA, 2009).

2.4. Critérios de Seleção Modal

Pacheco *et al.* (2008) afirmam que, para a tomada de decisão para seleção modal e, até mesmo para fins comparativos, deve-se medir as características operacionais de cada modal, considerando critérios de serviço (velocidade, disponibilidade, confiabilidade, capacidade e frequência) e de custos envolvidos nas atividades logísticas. Velocidade refere-se ao tempo decorrido na movimentação (*Transit Time*); Disponibilidade refere-se à capacidade do modal em atender diferentes locais (diferentes pares de origem-destino); Confiabilidade se refere à variação potencial da programação de entrega esperada; Capacidade se mostra na habilidade de lidar com diferentes requisitos, como tamanho ou peso da carga; e Frequência que se relaciona à quantidade de movimentações programadas (BOWERSOX, CLOSS e COOPER, 2007; PACHECO, *et al.*, 2008)

Devido ao grande impacto dos custos com transporte na cadeia de suprimentos, torna-se imprescindível analisar os modais de transporte disponíveis e escolher o mais viável em termos dos critérios citados, de forma a reduzir gastos e desperdícios. Dentro do processo de seleção modal, deve-se considerar também os custos de transporte (diretos) e de estoques (indiretos) relacionados ao desempenho das alternativas de transporte. A análise dos custos indiretos de estoques implica na análise da velocidade e confiabilidade, características que afetam os níveis de estoques e as quantidades de estoques em trânsito. Assim, a melhor escolha se dará pelo modal cujos custos indiretos (estoques) compensem os custos de transportes (PACHECO *et al.*, 2008).

Para Hashiba (2012), a seleção modal deve ser baseada na análise quantitativa dos custos combinada com a avaliação qualitativa de critérios de efetividade. Para tal, propõe-se uma metodologia que define as regras de decisão, para avaliar as opções de transportes, segundo seus atributos em relação aos critérios estabelecidos e, com isso, utiliza-se, por exemplo, a Análise Hierárquica de Processos (AHP). Custos logísticos, confiabilidade, flexibilidade, acessibilidade, oferta de instalações e pontualidade, constituem alguns dos critérios e subcritérios que suportam essa metodologia de seleção modal.

3. Método de Pesquisa

Este estudo compreendeu a caracterização e análise dos modais ferroviário e dutoviário no processo do transporte de minério de ferro por meio da identificação dos componentes logísticos operacionais e, com isso, realizou-se a comparação em termos de critérios de seleção modal. Para este propósito, o estudo conferiu as seguintes etapas: revisão da literatura sobre o transporte de minério de ferro no Brasil, componentes logísticos operacionais e critérios de seleção modal; caracterização dos elementos de cada modal e sua associação com os componentes logísticos; identificação dos critérios de seleção modal; e, por fim uma análise comparativa sobre os dois meios de transporte.

Na primeira etapa, verificou-se em publicações acerca do tema que os principais meios de transporte de minério de ferro utilizados no Brasil correspondem às ferrovias e dutovias, com destaque para a Estrada de Ferro Carajás (EFC), no Pará e Maranhão, e o Mineroduto Germano-Abu (MGU), em Minas Gerais e Espírito Santo, os quais, portanto, foram utilizados neste estudo. Logo, obteve-se dados acerca da estrutura desses modais com base nos componentes logísticos operacionais de forma a caracterizar os principais elementos no processo de transporte do minério. Destaca-se que a disponibilidade de dados foi limitada

devido à restrição e escassez de informações atualizadas, presentes em publicações e relatórios que foram utilizados, sobretudo em relação ao mineroduto.

Após a identificação dos componentes logísticos, juntamente com informações adicionais coletadas, aplicaram-se os cinco critérios de seleção modal destacados por Pacheco (2008) para realizar um comparativo entre os modais. Com isso, foi possível estabelecer um comparativo, considerando as principais vantagens e desvantagens de cada modal na atividade de transporte do minério de ferro. Para comparar os componentes logísticos em termos de nível de serviço, elaborou-se um quadro no qual marcou-se aquele modal que oferece maior destaque em determinado critério, com base na descrição dos seus componentes logísticos.

4. Análise e Discussão de Resultados

Seguem-se as caracterizações dos modais considerados, com detalhamento sobre os elementos associados aos componentes logísticos de forma a destacar a composição dos tipos de transporte e, com isso, embasar os critérios de seleção modal para comparação.

4.1 Componentes Logísticos – Estrada de Ferro Carajás (EFC)

O transporte do minério de ferro EFC foi caracterizado, na essência, por operações expressas, indo diretamente de um extremo ao outro, os quais correspondem aos pontos que recebem os fluxos de produção, que são os extremos da ferrovia: o complexo Mina – Usina, localizado na Serra de Carajás (Parauapebas - PA) e o porto de Ponta da Madeira (São Luís - MA). Estes pontos foram considerados os principais elementos do componente logístico Instalação, nos quais apresentam pontos de armazenagem e beneficiamento do minério de ferro. Entretanto, neste contexto, as estações intermediárias na ferrovia não foram consideradas elementos do componente citado, por não realizarem nenhum tipo de operação e/ou beneficiamento no produto.

Os Estoques foram associados aos produtos mantidos em silos (*Granulado, Pellet feed e Sinter feed*), os quais estão presentes nos pontos de carregamento das composições ferroviárias em Parauapebas - PA (Estoques na origem); durante o transporte, sem paradas programadas, ao longo da EFC (Estoques em trânsito); e depositados em pátios de estocagem, em São Luís – MA (Estoques no destino) antes de serem carregados nos navios.

Em relação componente Transporte, a EFC compreendeu a principal via de movimentação do minério, com 892 km de extensão e suas linhas secundárias somam mais de 268 km de bitola larga (1,6 m) (ANTT, 2010). Para transportar o minério de ferro, a EFC usa cerca de 76 locomotivas e 3.640 vagões, sendo 2.910 específicos para o transporte de minério de ferro e agrupados em trens, cada um composto por 3 locomotivas e 330 vagões, com capacidade de transporte de 130 milhões de toneladas por ano (IBRAM, 2013).

No que se refere ao componente Informação, além dos dados e informações levantados nesta pesquisa, sobretudo associados aos demais componentes logísticos, também mereceram destaque, no caso analisado, os sistemas de controle e comunicação da EFC, responsáveis por controlar e monitorar todas as operações nesta via localizados nas estações.

4.2 Caracterização do Transporte Dutoviário – Mineroduto Germano-Ubu (MGU)

A empresa que gerencia o Mineroduto Germano-Ubu possui, hoje, 97% da produção de minério de ferro destinada à exportação, atualmente realizada para 25 países das Américas, da Ásia, da África, da Europa e do Oriente Médio. Este mineroduto foi responsável por 90% do total de carga transportada em 2005 (PADULA, 2008).

O processo produtivo do MGU acontece da seguinte forma: o minério é extraído das minas, localizadas em Minas Gerais, e segue para concentradores, onde o minério é beneficiado, passando por processos de adequação às especificações e assumindo a forma de polpa, viabilizando, assim, seu bombeamento pelos dutos. O bombeamento acontece das unidades de Germano, em Minas Gerais até as unidades de Ubu, no Espírito Santo, onde este passa por uma série de tratamentos para a produção de pelotas, seguindo para as usinas de pelletização, onde o minério é transformado em pelotas e escoado pelo terminal marítimo de Ubu, em Anchieta – ES (RIBEIRO, 2008).

No que se refere à caracterização dos componentes logísticos operacionais associados ao uso do modal dutoviário, ressaltam-se as unidades Germano e Alegria, localizadas em Mariana e Ouro Preto (MG), respectivamente, nas quais os dutos iniciam suas operações, e o ponto final destes, em Anchieta (ES), considerados elementos associados às Instalações. Neste contexto, os Estoques constituem tanto aqueles Estáticos, associados aos produtos, mantidos na origem e no destino do transporte, quanto aos Em trânsito, bombeados nos dutos, no caso, a polpa de minério de ferro.

Para o componente logístico Transporte, é possível destacar a presença de dois minerodutos, ligando as minas à usina de pelletização, com quase 396 km de extensão cada (RIBEIRO, 2008), e que passam, ao longo do percurso até o destino, por 25 municípios entre os Estados de Minas Gerais e Espírito Santo, com capacidade para transportar até 24 milhões de toneladas por ano (RAS, 2012). Da sua extensão total, 346 km de dutos possuem 20” de diâmetro e os outros 50 km, possuem 18”. As tubulações deste mineroduto estão, em sua maioria, enterradas a uma profundidade média de 1,30m. O fluxo de minério de ferro é contínuo ao longo de todo o trecho. Este é composto por 2 estações de bombas – responsáveis por impulsionar a polpa de minério de ferro – e 2 estações de válvulas – utilizadas para minimizar os esforços bruscos ou permanentes de pressão dinâmica e estática aos quais os dutos se submetem (RIBEIRO, 2008).

Assim como na EFC, os dados e informações gerados por esta pesquisa sobre os demais componentes logísticos também podem ser considerados como parte do componente Informação, bem como os sistemas eletrônicos de controle e comunicação que monitoram o processamento e transporte do minério, desde a mina até o terminal de Ponta do Ubu. De modo a ilustrar a caracterização dos componentes logísticos em cada contexto e modal analisado, verifica-se no Quadro 1 uma comparação das informações de cada modal associadas a cada componente logístico.

Componentes logísticos	Especificações	Recursos alocados	
		EFC	MGU
Instalações	Fluxos de entrada e saída de produção	Complexo Mina-Usina na Serra de Carajás (Parauapebas - PA) e Porto de Ponta da Madeira (São Luís - MA)	Minas de Germano e Alegria (Mariana e Ouro Preto - MG) e o ponto final dos dutos (Anchieta - ES)
Estoques*	Na origem	Localizam-se em silos, nos pontos de carregamentos das composições ferroviárias (Parauapebas - PA)	Localizam-se na unidade de Germano, ponto onde se iniciam os dutos (Mariana e Ouro Preto - MG)
	Em trânsito	Localizam-se ao longo da via férrea da EFC (Parauapebas – PA até São Luís – MA)	Localizam-se ao longo dos dois minerodutos (Mariana e Ouro Preto – MG até Anchieta – ES)
	No destino	Localizados em pátios de estocagem (São Luís - MA)	Localizam-se na unidade de Ubu, ponto final dos dutos (Anchieta – ES)

Transporte	Transporte	Via férrea da EFC (892 km de extensão)	Dois minerodutos (396 km de extensão cada)
		Sistemas de controle da EFC;	Sistemas eletrônicos de controle que monitoram o processamento e transporte do minério;
Informação	Informação	Dados e informações associadas aos demais componentes logísticos levantados nesta pesquisa	Dados e informações associadas aos demais componentes logísticos levantados nesta pesquisa

Fonte: Os autores (2016)

*Na EFC, os estoques correspondem aos três tipos de minérios produzidos na Serra dos Carajás (PA): Granulado, *Pellet Feed*, e *Sinter Feed*; no mineroduto Germano-Ubu, corresponde a polpa de minério de ferro

Quadro 1 – Caracterização dos componentes logísticos no transporte de minério de ferro nos contextos estudados

4.3 Comparação com base critérios para seleção modal

Com base na descrição dos componentes logísticos, os modais também foram analisados e comparados em termos dos critérios de seleção destacados por Padula *et al.* (2008). Em relação ao critério Velocidade, tem-se que a EFC apresenta velocidade máxima limitada a 70 km/h com o trem carregado e 65 km/h nos pátios de cruzamento (VALE, 2011), enquanto no MGU, a velocidade é de a 1,8 m/s (6,8 km/h) (RIBEIRO, 2008). Com base em valores absolutos, observa-se que a EFC é mais rápida que o mineroduto, entretanto, devido à presença de estações intermediárias e operações de pátio a serem realizadas durante o trajeto, há possibilidade de paradas, o que causa demoras no fluxo do minério.

No MGU devido ao seu fluxo constante, as paradas são mínimas. Além disso, como alguns dutos se encontram enterrados, o que os protege de influências climáticas, permite que grandes quantidades de produto sejam deslocadas de maneira segura, diminuindo o tráfego de carga perigosas por outros modais, como ferrovias (RAS, 2012). Logo, a Confiabilidade na entrega do produto pode ser maior no MGU em termos de cumprimento de prazos e qualidade.

No que diz respeito à Capacidade, a EFC apresenta maiores valores, com 130 milhões de toneladas por ano (IBRAM, 2013), o que é representado pela quantidade de vagões presentes na ferrovia, contra 24 milhões de toneladas por ano do MGU (RAS, 2012). Quanto à Disponibilidade, os dois modais foram considerados com mesmo desempenho, devido tanto a EFC como o MGU possuírem pontos de carregamento e descarregamento do minério de ferro em instalações fixas, o que reduz a flexibilidade de haver diferentes pontos de coleta e entrega.

Em relação ao critério Frequência, o MGU foi considerado mais frequente, uma vez que nele, o transporte pode acontecer de forma ininterrupta. Ainda assim, o desempenho da EFC nesse critério pode também ser considerado bom devido ao transporte do minério de ferro ser feito por meio de operações expressas, indo continuamente de um extremo ao outro, porém com mais oportunidade de interrupções do que no mineroduto.

Logo, conforme demonstrado no Quadro 2, os modais estudados conferiram destaque em diferentes critérios, exceto pela Disponibilidade, no qual podem ser considerados semelhantes. Com isso, cada modal pode ser uma opção melhor de acordo com o objetivo do transporte e as características dos locais onde a movimentação de carga se dará como, relevo (MGU se apresenta em relevos montanhosos, o que confere maior ação da gravidade), distância do ponto final, clima, entre outros. Além disso, a caracterização dos componentes

logísticos pode auxiliar na identificação desses critérios, assim como no dimensionamento do processo de transporte para o minério de ferro.

Indicadores	Modal de transporte	
	Ferrovia (EFC)	Mineroduto (MGU)
Velocidade	X	
Confiabilidade		X
Capacidade	X	
Disponibilidade	X	X
Frequência		X

Fonte: Os autores

Quadro 2 – Caracterização dos componentes logísticos no transporte de minério de ferro nos contextos estudados

6. Considerações Finais

A análise e caracterização dos componentes logísticos realizada no presente trabalho ofereceu parâmetros que possibilitaram entender a atual configuração do transporte do minério de ferro na Estrada de Ferro Carajás e no Mineroduto Germano-Ubu. Foi possível relacionar, em cada modal, os elementos referentes aos componentes logísticos operacionais, caracterização importante para fins estratégicos. Nesse sentido, a comparação dos modais que foi realizada considerando critérios de seleção modal é extremamente útil no que diz respeito ao processo de seleção do modal mais adequado a ser utilizado e à definição das estratégias logísticas a serem adotadas.

Os componentes logísticos identificaram os principais elementos utilizados na EFC e no MGU, os quais podem servir de base para dimensionamento e tomada de decisão acerca do transporte. Com isso, por meio desta caracterização dos elementos logísticos, a comparação destes modais em termos de critérios de seleção modal, foi possível concluir que o desempenho de ambos modais pode ser considerado equivalente em termos de Disponibilidade, mas cada modal possui maior destaque nos demais indicadores: Velocidade e Capacidade, no caso da EFC, e Confiabilidade e Frequência, no caso do MGU.

Devido a dificuldades de acesso a informação, a pesquisa foi restringida pela falta de dados atualizados, principalmente no contexto dos minerodutos. Muitos trabalhos que tratavam sobre dutovias muitas vezes nem mesmo consideravam o transporte de minério em seus estudos sobre o modal, considerando apenas o transporte de gás e petróleo, cargas consideradas mais comuns no transporte via dutos. Nesse contexto, configura-se a importância e originalidade desse trabalho, que contribui para a bibliografia que existe atualmente sobre o transporte de minério de ferro nos modais ferroviário e dutoviário.

Como proposta para trabalhos futuros, propõe-se a análise dos modais ferroviário e dutoviário de transporte de minério de ferro no contexto dos componentes logístico estratégicos – custos e nível de serviço. Além disso, com uma análise dos custos logísticos dos modais – considerado uma das variáveis mais importantes à seleção dos modais de transporte de carga – seria possível aprofundar-se ainda mais no nível de comparação entre os modais.

Referências

AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES FERROVIÁRIOS, ANTF. *Balanco do Transporte Ferroviário de Cargas 2014*. 2014. Disponível em: <<http://www.antf.org.br/images/2015/informacoes-do-setor/numeros/balanco-do-transporte-ferroviario-de-2014-v130815.pdf>>. Acesso em: 11 set. 2016.

AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES TERRESTRES, ANTT. *Ferroviária*. 2015. Disponível em: <<http://www.antt.gov.br/index.php/content/view/4751/Ferroviaria.html>>. Acesso em: 11 set. 2016.

AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES TERRESTRES, ANTT. *Estrada de Ferro Carajás*. 2010. Disponível em: <http://appweb2.antt.gov.br/relatorios/ferroviario/concessionarias2008/12_EFC2008.pdf>. Acesso em: 12 set. 2016.

ALENCAR, E. D. M.; MELO, A. C.S. *Estudo exploratório sobre a logística na cadeia produtiva do dendê no Estado do Pará: Uma abordagem sob a ótica de componentes de desempenho operacionais*. In: XIX SIMPEP - Simpósio de Engenharia de Produção. Anais... Bauru. 2012.

ALVES, V. R. F. M; FERREIRA FILHO, V. J. M. *Programação de transferência de derivados de petróleo em rede dutoviária usando algoritmo genético*. In: Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás, 4., 2007, Campinas, SP. Anais... Campinas. 2007.

BALLOU, R. H. *Gerenciamento da cadeia de suprimentos: planejamento, organização e logística empresarial*. 4ª ed. Porto Alegre: Bookmann, 2001.

BALLOU, R. H. *Logística Empresarial – Transportes, Administração de Materiais, Distribuição Física*. São Paulo. Ed. Atlas, 1993.

BERTAGLIA, P. R. *Logística e Gerenciamento da Cadeia de Abastecimento*. 2 ed. rev. E atual. – São Paulo: Saraiva, 2009.

BOWERSOX, D.; CLOSS, D.; COOPER, M. *Gestão da Cadeia de Suprimentos e Logística*. Rio de Janeiro: Elsevier, 2007.

CAMPOS, L. B.; CRUZ, M. M. C.; POMPERMAYER, F. M. *Modelo integrado de apoio ao planejamento da rede de serviços no transporte ferroviário de cargas: aplicação para transporte de minério de ferro*. Revista Transportes, ANPET. v. 18, n. 2, p. 62-71, 2010.

CHAVES, I. A. *Análise da Confiabilidade Estrutural em Dutos Sujeitos à Corrosão Através de um Intervalo de Confiança para o Índice de Confiabilidade e Probabilidade de Falha Estimado Pela Técnica Bootstrap*. Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2015.

CHOPRA, S.; MEINDL, P. *Gestão da cadeia de suprimentos - Estratégia, planejamento e operações*. 4ª Ed. São Paulo, 2011.

COELHO, C. F.; MORALES, G. *Comparação de modais de transporte para escoamento de minério: indicadores de sustentabilidade*. In: VIII Congresso Nacional de Excelência em Gestão. Rio de Janeiro. Congresso Nacional de Excelência em Gestão, 2012.

COELHO, G. F.; MONTEIRO, N. J.; MELO, A. C. S.; NUNES, D. R. L.; MARTINS, V. W. B. *Modelo de simulação da atividade de lavra em minas a céu aberto: Um estudo de caso em uma mineradora no estado do Pará*. Interscience Place, [s.l.], v. 11, n. 1, p.122-139, 2016.

RIBEIRO, C. D. A. *Componente Dutoviário*. 2008. Instituto Federal do Espírito Santo. Disponível em: <ftp://ftp.ifes.edu.br/cursos/Transportes/Carlos_Alexandre/SIG/material%20de%20apoio%20te%F3rico%20ao%20ATLAS%20-%20aer%F3dromos%20e%20dutos.pdf>. Acesso em: 18 set. 2016.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE, CNT. *Economia em Foco – O Transporte Dutoviário*. CNT, 2012.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE, CNT. *Transporte Atual*. Edição Informativa da CNT. Ano XXII. N° 249. Junho, 2016. Disponível em: <<http://cms.cnt.org.br/Imagens%20CNT/PDFs%20CNT/REVISTA%20CNT%20249%20FINAL.pdf>>. Acesso em: 11 set. 2016.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE, CNT. *Transporte e Economia - O sistema ferroviário brasileiro*. Brasília: CNT, 2013. Disponível em: <<http://www.cnt.org.br/Estudo/transporte-e-economia-o-sistema-ferroviario-brasileiro-cnt>>. Acesso em: 08 set. 2016.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL, DNPM. *Informe Mineral. Julho a Dezembro de 2015*. 2015. Disponível em: <http://www.dnpm.gov.br/dnpm/informes/informe-mineral-2_2015.pdf>. Acesso em 08. set. 2016.

GOMES, H. A. *Dimensionamento de Mineroduto*. Universidade Federal de Minas Gerais. Departamento de Engenharia de Minas. Engenharia de Recursos Minerais – CEERMIN. Curso de Especialização. Julho, 2012.

HASHIBA, T. I. *Metodologia para escolha de modal do transporte, do ponto de vista da carga, através da aplicação do método de análise hierárquica.* 2012. 120 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Naval e Oceânica, Departamento de Engenharia Naval e Oceânica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012

INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO, IBRAM. *Ferrovia da Vale é a mais eficiente do país.* 2013. Disponível em: <http://www.ibram.org.br/150/15001002.asp?ttCD_CHAVE=189742>. Acesso em: 08 set. 2016.

INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO, IBRAM. *Relatório Anual IBRAM: Julho 2014 – Maio 2015.* 2015. Disponível em: <http://www.ibram.org.br/150/15001002.asp?ttCD_CHAVE=169435>. Acesso em: 08 set. 2016.

LANG, A. E. *As ferrovias no Brasil e a avaliação econômica de projetos: Uma aplicação em projetos ferroviários.* 2007. 120 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Transportes, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, 2007.

PACHECO, E. A.; DROHOMERETSKI, E.; CARDOSO, P. A. *A decisão do modal de transporte através da metodologia AHP na aplicação da logística enxuta: um estudo de caso.* In: IV Congresso Nacional de Excelência em Gestão. Niterói. Congresso Nacional de Excelência em Gestão, 2008.

PADULA, R. *Transportes – fundamentos e propostas para o Brasil.* 215 p. Confea: Brasília, 2008.

RELATÓRIO ANUAL DE SUSTENTABILIDADE, RAS. 2012. Disponível em: <<http://www.samarco.com/wp-content/uploads/2015/11/Relatorio-Anual-de-Sustentabilidade-20121.pdf>>. Acesso em: 12 set. 2016.

SILVA, R. B. *Crerios de Escolha Modal para o Transporte de Carga: Estudo de Caso em Grandes Empresas.* Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC. Engenharia de Transportes e Logística. Joinville, 2015.

SOUZA FILHO, E. M; FERREIRA FILHO, V. J. M.; LIMA, L. S. *Variable Neighborhood Search (VNS) aplicado ao problema de distribuição dutoviário.* In: Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás, 4., 2007, Campinas, SP. Anais... Campinas. 2007.

VALE. *Duplicação da Estrada de Ferro Carajás – EFC.* Estudo Ambiental e Plano Básico Ambiental. Vol. 1. Cap. 1-4. Belo Horizonte. 2011.

VAZ, A. V. OLIVEIRA, K. N., DAMASCENO, P. E. G. *O modal dutoviário: análise da importância e considerações sobre suas principais características.* Programa de Mestrado em Engenharia de Transportes – PETRAN, Universidade Federal do Ceará. Fortaleza. 2005.

VIEIRA, T. R. B. *Uma contribuição para a gestão operacional de ferrovias por meio de simulação probabilística.* 108 f. Dissertação (Mestrado) Curso de Engenharia de Transportes. COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.