

5.

Metodologia

5.1

Caracterização da pesquisa

Este capítulo objetiva definir a metodologia que será utilizada na pesquisa, bem como apontar quais ferramentas serão usadas na condução e análise dos resultados.

Tem-se como foco estudar a localização de terminais especializados/plataformas logísticas portuárias sob o ponto de vista estratégico, por meio de um método que se apresenta na Figura 8 sob a seguinte forma:

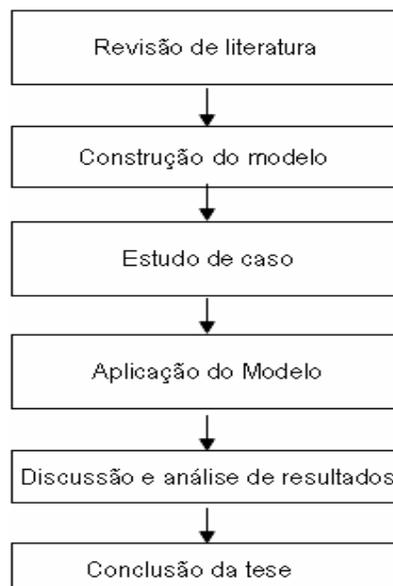


Figura 8 – Estrutura da Metodologia

Na primeira fase foram realizadas revisões de literatura sobre a competitividade da cadeia de suprimentos da soja no Brasil, plataformas logísticas e localização de instalações. A análise da competitividade das exportações brasileiras serviu de base para identificar que a logística para exportação da cadeia da soja é apontada como um dos condicionantes para a perda de competitividade do setor. A seguir, foi feita uma revisão de literatura contextualizando as plataformas logísticas, suas vantagens e onde estão localizadas mundialmente. Por fim, fez-se uma revisão de literatura sobre o tema localização de instalações, partindo-se do pressuposto de que toda a decisão locacional é uma decisão de âmbito estratégico com inúmeras aplicabilidades. A partir daí, sempre que foi necessário foram acrescentados tópicos dentro da revisão de literatura a fim de dar subsídios à construção do modelo e análise dos resultados.

Numa segunda fase, o modelo de programação linear inteira construído para localização de plataformas logísticas (macro unidade de negócios) é ajustado para aplicação a um terminal especializado (micro unidade de negócios), e a seguir, numa terceira fase, aplica-se o modelo proposto à cadeia de suprimentos do agronegócio da soja no Brasil. A coleta de dados é feita tanto para a os fluxos *inbound* (suprimento a plataforma ou terminal especializado) quanto *outbound* (distribuição a partir da plataforma ou terminal especializado). Pressupõe-se que a melhor decisão modal já foi realizada na cadeia *inbound*, e na cadeia *outbound* o transporte é realizado pelo modal marítimo.

O trabalho analisa o modelo de localização de terminais especializados, assumindo que estes terminais, tanto públicos quanto privados, estarão localizados na zona secundária (entorno) ou dentro da zona primária dos portos/terminais marítimos brasileiros já existentes. A aplicação deste estudo será feita para um terminal especializado em grãos, cuja aplicabilidade na agregação de valor ao produto se apresenta de forma mais reduzida. É importante ressaltar que o objetivo é determinar em qual

(ais) destes portos/terminais haverá a maximização do lucro do sistema, a partir de investimento em localização de um terminal especializado.

Numa quarta fase são discutidos e analisados os resultados a partir da saída de dados do modelo proposto. Nesta fase são identificados os possíveis problemas operacionais que possam impedir ou retardar a realização do investimento, bem como possíveis contribuições e sugestões para a continuidade da pesquisa.

5.2

A formulação

O problema de localização de plataforma logística (ou terminal especializado) consiste em considerar um conjunto $j \in J$ de potenciais localizações de plataformas ou terminais especializados, um conjunto $i \in I$ de pontos de origem, um conjunto $k \in K$ de pontos de destino, um conjunto $m \in M$ insumos, um conjunto $q \in Q$ produtos (*commodities*) e um conjunto $s \in S$ serviços.

O parâmetro $C_{ijm}^{inbound}$ representa o custo total de transporte *inbound* do insumo m de uma origem i para a plataforma logística ou terminal especializado j e $C_{jkq}^{outbound}$ representa o custo de transporte *outbound* do produto q de uma plataforma logística ou terminal especializado j com destino a k .

Para a plataforma ou terminal $j \in J$, existe um custo fixo f_j de sua instalação, um custo fixo g_{js}^{serv} referente à abertura do serviço s nesta plataforma ou terminal especializado e um custo α_{jms}^{serv} , variando em função do volume de insumo m que está utilizando o serviço s da plataforma, além de uma capacidade instalada total W_j e uma capacidade instalada w_{js} por serviço s nesta plataforma.

Existe ainda um preço P_{kq} comercializado no destino k , um volume S_{im} de insumo m ofertado na origem i , um volume D_{kq} de produto demandado no destino k e um coeficiente β_{jsmq} para insumos m que sofrerem alteração de volumes em produtos q , dependendo do serviço s realizado no terminal ou plataforma j . Incluem-se aos já citados o parâmetro Z , que representa o número de terminais ou plataformas que serão abertos. Portanto, os parâmetros dados consistem em P_{kp} , $C_{ijm}^{inbound}$, $C_{jksq}^{outbound}$, f_j , g_{js}^{serv} , α_{jms}^{serv} , S_{im} , D_{kq} , W_j , W_{js} , β_{jsmq} e Z .

As variáveis de decisão são $X_{ijm}^{inbound}$ representando o fluxo de insumos m enviado dos pontos de origem i a plataforma j para realização do serviço s , $X_{jksq}^{outbound}$ representando a quantidade de produto q que realizou o serviço s na plataforma ou terminal j para o destino k , além da variável $Y_j = 1$, que estabelece a decisão de abertura de uma plataforma em j e $Y_j = 0$, caso contrário. Outra variável de decisão é $Y_{js}^{serv} = 1$, estabelecendo a decisão de oferta do serviço s na plataforma logística ou terminal especializado j e $Y_{js}^{serv} = 0$, caso contrário.

O objetivo desse modelo é maximizar o lucro total deste transporte, determinando quais plataformas logísticas ou terminais especializados devem ser abertos e as designações dos fluxos *inbound* e fluxos *outbound* para uma determinada cadeia. O modelo está assim representado:

Conjuntos:

- I Conjuntos de pontos de origem i (cidades, fábricas, cooperativas, terminais ou centros de distribuição)
- J Conjunto de plataformas logísticas (localizadas em portos públicos ou term. privados) ou terminais especializados j
- K Conjunto de pontos de destino k (portos no exterior)
- M Conjunto de insumos m

- Q Conjunto de produtos q
- S Conjunto de serviços s

Parâmetros do modelo:

- P_{kq} Preço do produto $q \in Q$ comercializado para o destino $k \in K$;
- $C_{ijm}^{inbound}$ Custo de transporte da origem $i \in I$ para a plataforma logística ou terminal especializado $j \in J$, transportando o insumo $m \in M$;
- $C_{jkq}^{outbound}$ Custo de transporte da plataforma logística ou terminal especializado $j \in J$ com destino a $k \in K$, transportando o produto $q \in Q$;
- f_j Custo fixo de instalação de uma plataforma logística ou terminal especializado em $j \in J$;
- g_{js}^{serv} Custo fixo para abrir o serviço $s \in S$ na plataforma logística ou terminal especializado $j \in J$;
- α_{jms}^{serv} Custo variável do pacote de serviços $s \in S$, realizado no insumo $m \in M$, na plataforma logística ou terminal especializado $j \in J$;
- β_{jms} Coeficiente de alteração do volume por serviço $s \in S$ e insumo $m \in M$;
- w_{js} Capacidade instalada de atendimento do pacote de serviços $s \in S$ na plataforma logística ou terminal especializado $j \in J$;
- W_j Capacidade instalada total na plataforma logística ou terminal especializado $j \in J$;
- Z Número máximo de plataformas logísticas ou terminais especializados abertos;
- S_{im} Oferta do insumo $m \in M$ na origem $i \in I$;

D_{kq} Demanda máxima para o produto $q \in Q$ no destino $k \in K$.

Variáveis de decisão:

Y_j $\left\{ \begin{array}{l} 1, \text{ se a plataforma logística ou terminal especializado for} \\ \text{aberto no local } j \\ 0, \text{ caso contrário.} \end{array} \right.$

Y_{js}^{serv} $\left\{ \begin{array}{l} 1, \text{ se o serviço } s \text{ for oferecido no local } j \\ 0, \text{ caso contrário.} \end{array} \right.$

$X_{ijsm}^{inbound}$ Quantidade do insumo m , alocado da origem i à plataforma logística ou terminal especializado j , para receber o serviço s .

$X_{jksq}^{outbound}$ Quantidade do produto q que efetuou o serviço s na plataforma ou terminal especializado j com destino k .

$$\begin{aligned} & \text{Maximizar } \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} \sum_{q \in Q} \sum_{s \in S} P_{kq} X_{jksq}^{\text{outbound}} \\ & - \sum_{j \in J} \left\{ \sum_{i \in I} \sum_{m \in M} C_{ijm}^{\text{inbound}} \sum_{s \in S} X_{ijsm}^{\text{inbound}} \right\} - \sum_{j \in J} \left\{ f_j Y_j + g_{js}^{\text{serv}} Y_{js}^{\text{serv}} + \sum_{s \in S} \sum_{m \in M} \sum_{i \in I} \alpha_{jism}^{\text{serv}} X_{ijsm}^{\text{inbound}} \right\} - \sum_{j \in J} \left\{ \sum_{k \in K} \sum_{q \in Q} C_{jkq}^{\text{outbound}} \sum_{s \in S} X_{jksq}^{\text{outbound}} \right\} \end{aligned}$$

sujeito a

$$\sum_j \sum_s X_{ijsm}^{\text{inbound}} \leq S_{im} \quad \forall i \in I, m \in M \quad (26)$$

$$\sum_j \sum_s X_{jksq}^{\text{outbound}} \leq D_{kq} \quad \forall k \in K, q \in Q \quad (27)$$

$$\sum_m \sum_i X_{ijsm}^{\text{inbound}} \leq w_{js} Y_{js}^{\text{serv}} \quad \forall j \in J, s \in S \quad (28)$$

$$\sum_s \sum_m \sum_i X_{ijsm}^{\text{inbound}} \leq W_j Y_j \quad \forall j \in J \quad (29)$$

$$Y_{js}^{\text{serv}} \leq Y_j \quad \forall j \in J, s \in S \quad (30)$$

$$\beta_{jismq} \sum_i X_{ijsm}^{\text{inbound}} - \sum_k X_{jksq}^{\text{outbound}} = 0 \quad \forall j \in J, s \in S, m \in M, q \in Q \quad (31)$$

$$\sum_j Y_j \leq Z \quad \forall j \in J \quad (32)$$

$$X_{ijsm}^{\text{inbound}}, X_{jksq}^{\text{outbound}} \geq 0 \quad \forall i \in I, j \in J, s \in S, k \in K, m \in M, q \in Q \quad (33)$$

$$Y_j \in \{0, 1\} \quad \forall j \in J \quad (34)$$

$$Y_{js}^{\text{serv}} \in \{0, 1\} \quad \forall j \in J, s \in S \quad (35)$$

O problema consiste em descobrir um subconjunto de plataformas ou terminais especializados que maximize o lucro total do sistema e que satisfaça toda a quantidade ofertada dentro dos limites impostos. A restrição (26) garante que a soma de todo o volume de insumo m que se destina à realização do serviço s na plataforma ou terminal especializado j seja menor ou igual à quantidade do insumo m ofertado na origem i . Os serviços realizados na plataforma podem englobar o transbordo, armazenagem segregada, esmagamento, processamento, além dos serviços de descarga e embarque portuários.

A restrição (27) assegura que a demanda do destino k seja satisfeita, assumindo-se que o volume total do produto q saído da plataforma j seja igual ao total demandado em k . A restrição (28) garante que a soma do fluxo *inbound* de insumos m enviado à plataforma ou terminal especializado j para realização dos serviços s seja menor ou igual à capacidade de atendimento do serviço s na plataforma j e a restrição (29) estabelece que a soma de todos os insumos m originados em i e destinados a realização do serviço s na plataforma j , seja menor ou igual à capacidade total de atendimento total da plataforma j . A restrição (30), estabelece que a variável de decisão Y_{js}^{serv} só pode ser 1 se a variável de decisão Y_j for também igual a 1.

A restrição (31), denominada de equação de conservação de fluxo, representa o equilíbrio entre toda a quantidade recebida e enviada pelo ponto de transbordo, plataforma ou terminal especializado j . Há que se considerar que foi imposto um parâmetro β_{ismq} ao volume de insumos m que serão transformados (ou não) em produtos q na plataforma ou terminal j . Este coeficiente será empregado para o caso de haver processamento ou beneficiamento que represente qualquer alteração no volume transportado. Já a restrição (32) foi empregada para limitar o número de Z plataformas a serem abertas e, finalmente, a restrição (33) indica que toda alocação de fluxo deve ser não-negativa, e a restrição

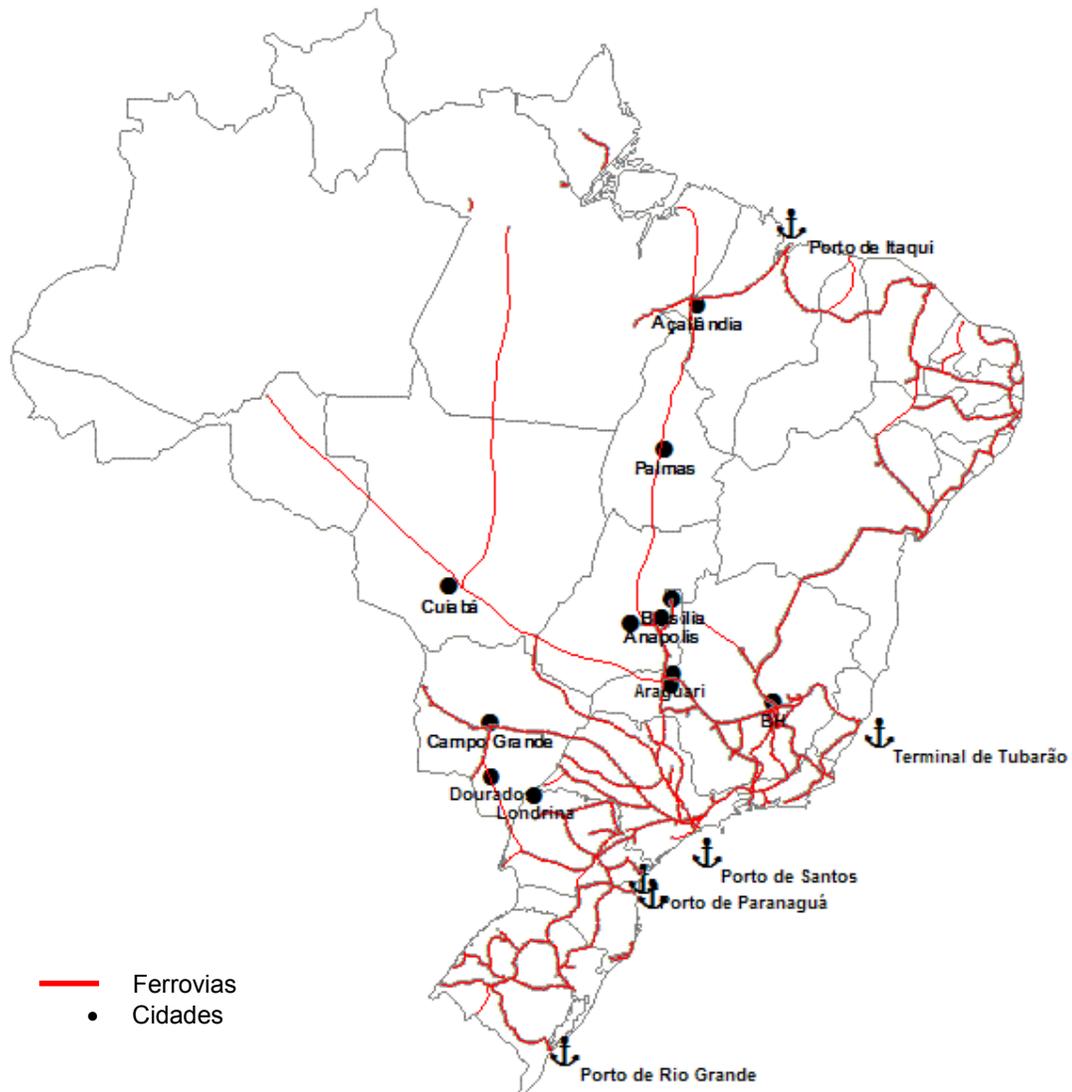
(34) e (35) garantem a condição binária das correspondentes variáveis de decisão do modelo.

5.3

Universo e amostra

O universo do estudo abrange o volume exportado de soja pelo Brasil no ano de 2004, e a amostra foi definida pelo critério de acessibilidade (Vergara, 2005), compreendendo dados pertinentes a seis (6) pontos de origem da carga de soja em grãos no Brasil (Açailândia – MA, Araguari – MG, Campo Grande – MT, Cuiabá – MS, Dourados – MS, Londrina-PR), seis (6) portos de escoamento/beneficiamento/transbordo e três (3) portos de destino no exterior. Esses seis pontos de origem foram escolhidos por representarem os locais de maior concentração de carga no país, que são escoados pelo modal rodo-ferroviário para os seis principais portos de transbordo dessa cadeia produtiva no Brasil (Itaqui – MA, Tubarão – ES, Santos – SP, Paranaguá – PR, São Francisco do Sul – SC e Rio Grande – RS), podendo haver transporte rodoviário entre as localidades de origem e o terminal ferroviário mais próximo (Mapa 2).

Os três portos de destino escolhidos foram Roterdã - Holanda, Hamburgo - Alemanha e Xangai - China por representarem os maiores portos de destino das cargas no exterior. Há que se esclarecer que, embora existam outros pontos de origem de cargas de soja no Brasil, utilizando outras formas de escoamento (modal hidroviário, por exemplo), optou-se por esta amostra (combinação modal rodo-ferroviário + marítimo) pela maior facilidade de coleta de dados, principalmente no tocante aos dados da oferta do produto na origem.



Mapa 2 – Pontos de origem e portos/terminais de transbordo

5.4

Coleta de dados

A coleta de dados foi realizada por meio de busca bibliográfica em dados estatísticos e consulta às empresas que fazem o transporte *inbound*

(ferroviário e rodoviário) e *outbound* (marítimo). Quanto aos dados portuários, buscou-se informações em dados estatísticos mais recentes e em consulta aos técnicos das empresas selecionadas. A maioria dos dados consta dos bancos de informação do Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio - MDIC, do Ministério da Agricultura – MA, da Agência Reguladora de Transporte Terrestre – ANTT, da base de dados do GEIPOT, nos bancos de informações de algumas Cia. Docas e de concessionárias de serviços ferroviários (Brasil Ferrovias, América Latina Logística - ALL, Ferrovia Centro Atlântica - FCA, Estrada de Ferro Carajás – EFC e Estrada de Ferro Vitória a Minas – EFVM).

5.5

Tratamento dos Dados

O modelo de localização de terminais especializados/plataformas logísticas foi elaborado usando uma linguagem para programação matemática denominado *A Modeling Language for Mathematical Programming - AMPL* (Fourer, 1993). A aplicação foi feita usando o programa de solução de programação linear inteira *CPLEX MIP Solver 8.0* – versão acadêmica (Anexo I). Para a análise de resultados foi utilizada a planilha eletrônica Microsoft Excel e para a apresentação gráfica dos mapas foi utilizado o *Transportation GIS Software - TRANSCAD* – versão 4.5, um Sistema de Informações Geográficas aplicado a transportes.

5.6

Limitações do estudo

O método escolhido para o estudo apresenta algumas dificuldades e limitações quanto ao modelo, à coleta e ao tratamento dos dados. As principais limitações consistem na dificuldade de se encontrar dados precisos sobre a cadeia da soja, o que levará a assumir alguns valores médios em termos de custos de transporte e operação portuária, bem como investimento na instalação da plataforma logística. Apesar da imprecisão parcial dos dados, a aplicação do modelo se mostrou eficaz, validando a formulação do modelo proposto.

Quanto ao tratamento dos dados, uma limitação poderá ocorrer quando existir um volume de dados superior à capacidade de resolução dos programas computacionais utilizados. Para esse caso, haverá necessidade da versão profissional do programa, ou construção de heurísticas ou algoritmos especiais, que fogem ao escopo deste trabalho. Para o modelo atual, utilizou-se a versão acadêmica do programa AMPL e CPLEX, com restrição de 300 variáveis, sem prejuízo à validação do modelo. Não houve também necessidade de construção de algoritmos especiais, pelo fato de se ter um estudo de caso que se aplica à capacidade de solução dos programas escolhidos (*CPLEX MIP Solver 8.0* e *TRANSCAD 4.5*).