

**UNIVERSIDADE SANTA CECÍLIA
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA
MESTRADO EM ENGENHARIA MECÂNICA**

EDUARDO LUSTOZA

**PROJETO BÁSICO DE TRANSPORTE PNEUMÁTICO DE SOJA
DO PLANALTO PAULISTA ATÉ O PORTO DE SANTOS.**

Santos/SP

2019

EDUARDO LUSTOZA

**PROJETO BÁSICO DE TRANSPORTE PNEUMÁTICO DE SOJA
DO PLANALTO PAULISTA ATÉ O PORTO DE SANTOS.**

Dissertação de mestrado apresentada a Universidade Santa Cecília como parte dos requisitos para obtenção de título de mestre no Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica, sob orientação da Profa. Dra. Marlene Silva de Moraes e Coorientação dos Prof. Dr. Deovaldo de Moraes Júnior e do Prof. Dr. Áureo Emanuel Pasqualetto de Figueiredo.

Santos/SP

2019

Autorizo a reprodução parcial ou total deste trabalho, por qualquer que seja o processo, exclusivamente para fins acadêmicos e científicos.

621.54 Lustoza, Eduardo
L99p Projeto básico de transporte pneumático de soja do planalto paulista até o porto de Santos.
Eduardo Lustoza
2019.
77 p.

Orientador: Marlene Silva de Moraes.

Coorientadores: Deovaldo de Moraes Júnior e Áureo Emanuel Pasqualetto de Figueiredo.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Santa Cecília,
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Santos, SP, 2019.

1. Transporte pneumático de soja. 2. Fase Diluída. 3. Sistema grãodutoviário. 4. Friabilidade da soja. 5. Grão Duto. 6. Corredor logístico da soja. 7. Sustentabilidade. I. Moraes, Marlene Silva de. II. Moraes Júnior, Deovaldo de. III. Figueiredo, Áureo Emanuel Pasqualetto de. IV. Projeto básico de transporte pneumático de soja do planalto paulista até o porto de Santos.

Elaborada pelo SIBi – Sistema Integrado de Bibliotecas – UNISANTA

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a Deus e às egrégoras espirituais pela inspiração às pesquisas científicas, aos meus pais (“in memoriam”) Geraldo Lustoza Granja e Daicy Couto Lustoza pela energia incondicional aos estudos, à minha esposa Sandra Aparecida Tioma Lustoza, aos meus filhos Daniel de Carvalho Lustoza, Gabriel de Carvalho Lustoza e Amanda Tioma Lustoza e aos meus irmãos pela conspiração silenciosa, sempre na torcida.

AGRADECIMENTOS

Agradeço,

À **professora Dra. Marlene Silva de Moraes**, que me ofereceu pleno suporte durante toda a execução das pesquisas, com extremo discernimento, além do estímulo e carinho pessoal.

Ao **professor Dr. Deovaldo de Moraes Júnior**, pela contribuição com sua sabedoria alegria em ensinar, além dos exemplos de caráter e profissionalismo.

Ao **professor Dr. Áureo Emanuel Pasqualetto de Figueiredo**, pelo grande incentivo deste mestrado, sua permanente disponibilidade e acima de tudo pela amizade e cumplicidade profissional.

Ao **Professor Dr. Aldo Ramos Santos** pelo diferenciado apoio, disponibilidade e inspiração na busca das soluções.

Ao **Prof. Victor da Silva Rosa** pela incansável disponibilidade nas revisões e críticas sempre construtivas.

Ao **Prof. Dr. Antônio de Sales Penteado e Profa. Dra. Silvia Ângela Teixeira Penteado e Dra. Lucia Maria Teixeira e Marcelo Pirilo Teixeira** pelo incentivo diferenciado às pesquisas científicas na estruturação do protótipo transportador pneumático.

A **LPC Latina Engenharia** pelo apoio na elaboração do lay out do Centro de Silagem no planalto paulista, em especial aos Engenheiros: **José Roberto Gama, José Nicoletti e Rogério Marques**.

E, aos **Alunos e Colaboradores do Laboratório de Operações Unitárias**, que partilharam as batalhas de pesquisas e desenvolvimento dos trabalhos na busca dos créditos, dos artigos técnicos e ensinamentos.

RESUMO

O cenário mundial mostra tendência de crescimento da produção de alimentos bem como das áreas de plantio de grãos sem o correspondente crescimento da infraestrutura viária para o escoamento das safras. Dentre os modais que se destacam para atender esta demanda agrícola no porto de Santos/SP estão o rodoviário e o ferroviário que atendem a 100 % do transporte. Este trabalho teve como objetivo principal propor uma opção logística para ampliar a capacidade de exportação e importação portuária através de um projeto básico de transporte pneumático de soja, entre a região da Vila de Paranapiacaba no planalto paulista e o porto de Santos na região de Cubatão, trajeto dutoviário alternativo de 16 km pela Serra do Mar utilizando um tronco ferroviário desativado e antropizado. Os objetivos específicos foram: a) apresentar a modelagem de um sistema intermodal para recepção de trens e caminhões, denominado de Centro de Silagem, b) propor um projeto básico para o transporte de soja por ar no interior de dutos, desde o Centro de Silagem até o porto de Santos, c) recomendar um sistema de separação ar/soja no terminal portuário de Santos, para alimentação direta aos navios, d) dimensionar a economia de fretes rodoferroviário, e) calcular a demanda de poluentes mitigadas pelo novo modal de transporte. Os resultados obtidos demonstram no seu memorial de cálculo, com base nos nomogramas dos Anexos D, que uma malha com 22 tubos de aço de 254 mm de diâmetro interno, vazão de 45 m³/h, velocidade de 900 m/min são suficientes para o deslocamento de 1.000 t/h de soja, equivalentes a média mensal de 20.571 caminhões e 12.000 vagões ferroviários, com economia superior a R\$19 milhões em frete rodoviário, mitigando 11 t/mês de emissão de poluentes à atmosfera.

Palavras chave: Transporte pneumático de soja. Fase Diluída. Sistema grãodutoviário. Friabilidade da soja. Grão duto. Corredor logístico da soja. Sustentabilidade.

ABSTRACT

The world scenario shows a trend of growth of food production as well as grain planting areas without the corresponding growth of road infrastructure for the flow of crops. Among the modalities that stand out to meet this agricultural demand in the port of Santos / SP are the road and rail that serve 100% of transportation. The main objective of this work was to propose a logistics option to increase port export and import capacity through a basic project of pneumatic soy transport, between the Paranapiacaba region on the São Paulo plateau and the Santos port in the Cubatão region, a pipeline route alternative of 16 km by the mountains range using a branch line disabled and degraded. . The specific objectives were: a) present the modeling of an intermodal system for the reception of trains and trucks, called the Silagem Center, b) propose a basic project for the transport of soybean by air from the Silagem Center to the port of Santos c) recommend an air / soybean separation system at the Santos port terminal for direct feeding to the ships; d) scale the economy of road and rail freight; e) calculate the demand for pollutants mitigated by the new transport mode. The results obtained show in its calculation report, based on the nomograms of Annexes C, that a pneumatic system with 22 steel tubes of 254 mm diameter, at a flow rate of 45 m³/h, and speed of 900 m/min, it can displace 1,000 t/h of soybean, equivalent to 20,571 trucks and 12,000 railway wagons, saving more than R\$19 million on freight rates and reducing 11 t/month of pollutants in the atmosphere.

Keywords: Pneumatic transportation of soybeans. Phase Diluted. Grain Duct System. Soy friability. Grand duct. Soy logistic corridor. Sustainability.

LISTA DE FIGURAS

1.1	Projeção Mundial de Exportação Global de Soja	15
1.2	Transporte pneumático em Fase Diluída	18
1.3	Transporte pneumático em fase densa	20
1.4	Descarga de soja gerando poeira em ambiente fechado	22
2.1	Esboço da Unidade Piloto de Transporte Pneumático em Fase Diluída	28
2.2	Unidade piloto de transporte pneumático	29
3.1	Traçado Dutoviário do Corredor Logístico	32
3.2	Layout do Centro de Silagem de Soja	34
3.3	Detalhes dos 20 silos e Estação de Bombeamento	35
3.4	Complexo Logístico para recepção rodoferroviário	36
3.5	Complexo Descarregador de Trens e Caminhões	37
3.6	Traçado a/b do Sistema Dutoviário paralelo ao ramal do funicular	39
3.7	Traçado a/b do Sistema Dutoviário na região da Vila de Paranapiacaba	39
3.8	Perfil da Rampa de Traçado Dutoviário – quadriculado a cada 500 m	40
3.9	Modelo de Ciclone Industrial Metálico – Separador de Sólido/Fluido	42
3.10	Fluxo Esquemático de Equipamento Transportador Pneumático	43
3.11	Equipamento Transportador Pneumático em Fase Densa	45
3.12	Sistema convencional de Embarque de Soja	46
3.13	Sistema Sugador de Transporte Pneumático de Sólidos	46

LISTA DE QUADRO

QUADRO 1.3 - Comparativo entre Sistemas Transportadores

LISTA DE TABELAS

1.1	Velocidade Padrão de Transporte por Sistema Pneumático	19
2.1	Movimentação Média de Caminhões no Porto de Santos	30
2.2	Movimentação Média de Vagões no Porto de Santos	31
3.1	Capacidade de transporte pneumático de grãos	44
3.2	Emissão de Poluentes por Caminhão Diesel	49

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	-	Associação Brasileira de Normas Técnicas
NBR	-	Normas Brasileiras
IEC	-	International Electrotechnical Commission
MD	-	Margem Direita
ME	-	Margem Esquerda
CODESP	-	Companhia Docas do Estado de São Paulo
MMA	-	Ministério do Meio Ambiente
MTPAC	-	Ministério dos Transportes Portos e Aviação Civil
TNFR	-	Tabela Nacional de Fretes Rodoviários Mínimos
D_{mcd}	-	Demanda Média de Caminhões na Margem Direita
D_{mce}	-	Demanda Média de Caminhões na Margem Esquerda
R_{fcp}	-	Redução do Fluxo de Caminhões no Porto
R_{fvp}	-	Redução do Fluxo de Vagões no Porto
F_r	-	Frete Rodoviário
F_f	-	Frete Ferroviário
F_{rme}	-	Frete Rodoviário Equivalente Mitigado
F_{fme}	-	Frete Ferroviário Equivalente Mitigado
R_{cmd}	-	Redução de Caminhões na Margem Direita
R_{cme}	-	Redução de Caminhões na Margem Esquerda

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
1.1 Objetivo Geral	23
1.2 Objetivos Especificos .	23
1.3 Justificativa e Relevância do Tema	23
1.4 Organização da Dissertação	25
2. MATERIAL E MÉTODO	26
2.1 Técnica Adotada	26
2.2 Unidade Piloto de Transporte Pneumático	28
2.3 Demanda de Exportação pelo Corredor Logístico	29
3. RESULTADOS E DISCUSSÕES	31
3.1 Traçado do Corredor Logístico de Grãos	31
3.1.1 Centro de Silagem de Soja	33
3.1.2 Modelagem do Traçado Dutoviário	38
3.1.3 Memorial de Cálculos do Transportador Pneumático	41
3.1.4 Separador de Fluido e Sólido no Porto	42
3.1.5 Sistema Pneumático para Curta Distância	43
3.1.6 Conexão ao Terminal Portuário Exportador	45
3.1.7 Valoração dos Fretes Rodoviários e Ferroviários	47
3.1.8 Redução de Emissão de Poluentes de Motores Diesel	49
4. CONCLUSÕES E SUGESTÕES	50
4.1 Conclusões	50
4.2 Trabalhos Futuros	52
REFERÊNCIAS	53
APÊNDICE A1 – Movimentação Anual de Caminhões no Porto 2014	55
APÊNDICE A2 – Movimentação Anual de Caminhões no Porto 2015	56
APÊNDICE A3 – Movimentação Anual de Caminhões no Porto 2016	57
APÊNDICE A4 – Movimentação Anual de Caminhões no Porto 2017	58
APÊNDICE A5 – Movimentação Anual de Caminhões no Porto 2018	59
APÊNDICE B1 – Demanda Anual de Vagões no Porto de Santos - 2014	60
APÊNDICE B2 – Demanda Anual de Vagões no Porto de Santos - 2015	61
APÊNDICE B3 – Demanda Anual de Vagões no Porto de Santos- 2016	62
APÊNDICE B4 – Demanda Anual de Vagões no Porto de Santos - 2017	63

APÊNDICE B5 – Demanda Anual de Vagões no Porto de Santos - 2018	64
APÊNDICE C1 – Síntese de Movimentação de veículos no porto de Santos	65
APÊNDICE C2 – Demanda de Caminhões Transportadores de Granel Vegetal	66
APÊNDICE C3 – Demanda de Vagões Transportadores de Granel Vegetal	67
APÊNDICE C4 – Demanda de Veículos Graneleiros no Porto de Santos	68
APÊNDICE C5 – Exportação de soja pelo Porto de Santos	69
APÊNDICE D1 – Determinação da Vazão de Escoamento de Sólidos	70
APÊNDICE D2 – Determinação da Capacidade do Sistema – Relação Sólido/Fluído	71
APÊNDICE D3 – Determinação do Fator de Projeto (<i>Design</i>)	72
APÊNDICE D4 – Determinação da Perda de Carga	73
APÊNDICE D5 – Determinação do Volume de Ar	74
ANEXO A – Projeção de Movimentação de Cargas – Porto de Santos	75
ANEXO B – Tabela ANTT de Frete Rodoviários Mínimo	76
ANEXO C – Fatores de Emissão de Poluentes para Motores Diesel – g/km	77

1. INTRODUÇÃO

O consumo mundial de grãos está estimado em cerca de 2,2 bilhões de toneladas segundo a Embrapa (2018), destacando-se o consumo de milho em torno de 1 bilhão de toneladas e a soja com mais de 300 milhões de toneladas, com crescimento médio mundial superior a 2,5 % ao ano. A demanda mundial por soja deve continuar aumentando ao longo da próxima década e a China continuará sendo o principal importador mundial, atingindo um volume anual de importação de 112,3 milhões de toneladas em 2024, impulsionada pelo aumento da população urbana estimada em nove pontos percentuais em 2020 (Embrapa 2020). Neste cenário, o Brasil aparece como o principal exportador da oleaginosa, contribuindo com mais da metade de todo o volume comprado no mundo.

Segundo Padilha Junior e Mendes (2007), o crescimento da produção de grãos nas últimas quatro décadas foi de 616,9 %, sobretudo devido a expansão da soja (8.300 %). Os produtores de grãos também se beneficiam do aumento da produtividade brasileira, sobre uma mesma área em virtude dos níveis tecnológicos empregado em suas lavouras.

Em 2024, as importações mundiais de soja devem chegar a 151,7 milhões de toneladas (Embrapa, 2016). O Brasil é colocado como o principal exportador mundial, com 66,5 milhões de toneladas, seguido dos Estados Unidos, que devem colaborar com 48,7 milhões de toneladas. Apresenta-se na Figura 1.1 o volume de exportação projetado por país.

Milhões de toneladas

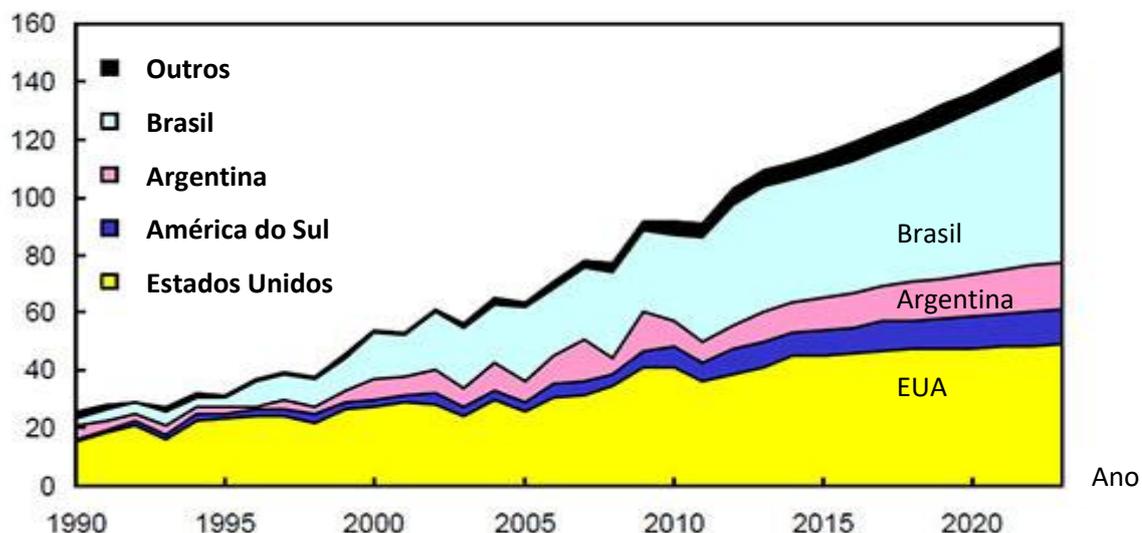


Figura 1.1 – Projeção Mundial de Exportação Global de Soja
Fonte Embrapa 2016

A produção brasileira saltou de 26 milhões de toneladas em 1996 para 95 milhões de toneladas na safra de 2015/2016 (Embrapa Soja) sendo maior exportador do mundo e o segundo maior produtor.

O Brasil colhe bons resultados na utilização de seu potencial agrícola, em sucessivos recordes de produção, notadamente grãos, que em grande volume são exportados na forma de “commodities”.

A safra agrícola brasileira em 2018 está estimada em 226,2 milhões de toneladas, 6% menor que a de 2017. No entanto, a previsão para a safra de soja continua sendo recorde, com estimativa de 117,3 milhões de toneladas, um aumento de 2% frente ao ano passado (IBGE 2018), sendo que mais de 27 % serão exportadas pelo Porto de Santos (Embrapa 2017), permeando o limite da capacidade logística do sistema.

O consumo nacional previsto para 2018 é de 59 milhões de toneladas, e exportação de soja em grão 68,1 milhões de toneladas, alcançando receita cambial de U\$ 31,7 bilhões se contabilizado a exportação de farelo e óleo de soja. CONAB/2018.

O porto de Santos que possui a maior plataforma exportadora nacional do complexo soja, exportou entre 2013 e 2016 quantitativo anual entre 16,0 e 19,4 milhões de toneladas, respectivamente. Da mesma forma, a segunda maior plataforma exportadora brasileira de grãos foi pelo Porto de Paranaguá, média 13,32 milhões de toneladas anuais no mesmo período, trilhando a mesma saturação do sistema viário.

A competitividade da produção de grãos está aliada à forma de escoamento do produto da região produtora aos centros consumidores. Assim, a estrutura logística disponível confere um papel determinante à eficiência e a viabilidade do sistema de movimentação e distribuição dos grãos.

A capacidade das rodovias não comporta a chegada diária simultânea de trens e centenas de caminhões na cidade de Santos em suas diversas configurações com cavalos mecânicos, reboques e semirreboques, onde ocorre os indesejados cruzamentos entre os modais no mesmo nível.

A elevada densidade demográfica de Santos, com mais de 1400 habitantes por quilômetro quadrado (IBGE 2010), população alocada em uma faixa estreita de no máximo 20 quilômetros entre a encosta e o litoral, agravam os problemas de congestionamento das rodovias e ferrovias.

As ferrovias têm um considerável potencial de expansão, mas envolvem a onerosa transposição da escarpa da serra do mar e obras, além da aquisição de equipamentos de alto custo e longo prazo de amortização. Prestam contribuição inestimável e devem ser estimuladas face às limitações do sistema rodoviário. Todavia, atravessam áreas densamente povoadas, com potencial de acidentes nos cruzamentos rodoferroviário em nível.

O cenário de saturação do modal rodoviário, a limitação ferroviária e ausência hidroviária no Porto de Santos, potencializam em mais de 72 % a demanda de transporte rodoviário com destino ou origem ao porto, desbalanceando assim a matriz de transporte, conduzindo a economia nacional ao maior custo logístico do planeta.

O compromisso com o futuro exige a busca de alternativas para eliminar os gargalos logísticos do maior porto do hemisfério sul do planeta, para fomentar o compromisso do Ceileiro do Mundo na produção de alimentos.

A logística, para cadeias agroalimentares, compreendendo as atividades de transporte e de armazenamento, se planejada e operada de maneira integrada, pode resultar em benefícios claros e contabilizáveis (CAIXETA FILHO, 2010).

É neste cenário de crescimento da produção e gargalos logísticos que desponta a necessidade de projetar novos corredores logísticos e ampliar a capacidade de escoamento da soja e de outros grãos por sistemas alternativos.

O escoamento em fase diluída (Figura 1.2) ocorre com concentração de sólidos abaixo de 1 % em volume, promovendo queda de pressão abaixo de 50 mm de coluna de água por metro e velocidade de gás, em geral, maior que 10 m/s.

Tem-se na Figura 1.2 um Sistema de Transporte Pneumático, de baixa pressão e velocidade média e baixa. Usado para o transporte de materiais de média a alta densidade, abrasividade média, baixa friabilidade, fluidizáveis e que apresentam alguma dificuldade de transporte a exemplos do café em grãos, chocolate em pó, calcário granulado, carbono de cálcio, alumina, óxido de ferro, cimento e sílica em pó.

O sistema de transporte em fase diluída requer velocidades do ar relativamente altas segundo Moraes (2012), dependendo do tipo de material. Isto ocorre tipicamente na faixa de 15,2 m/s para um pó a 20,3 m/s para um material granular, e além para partículas maiores e materiais de maior densidade.

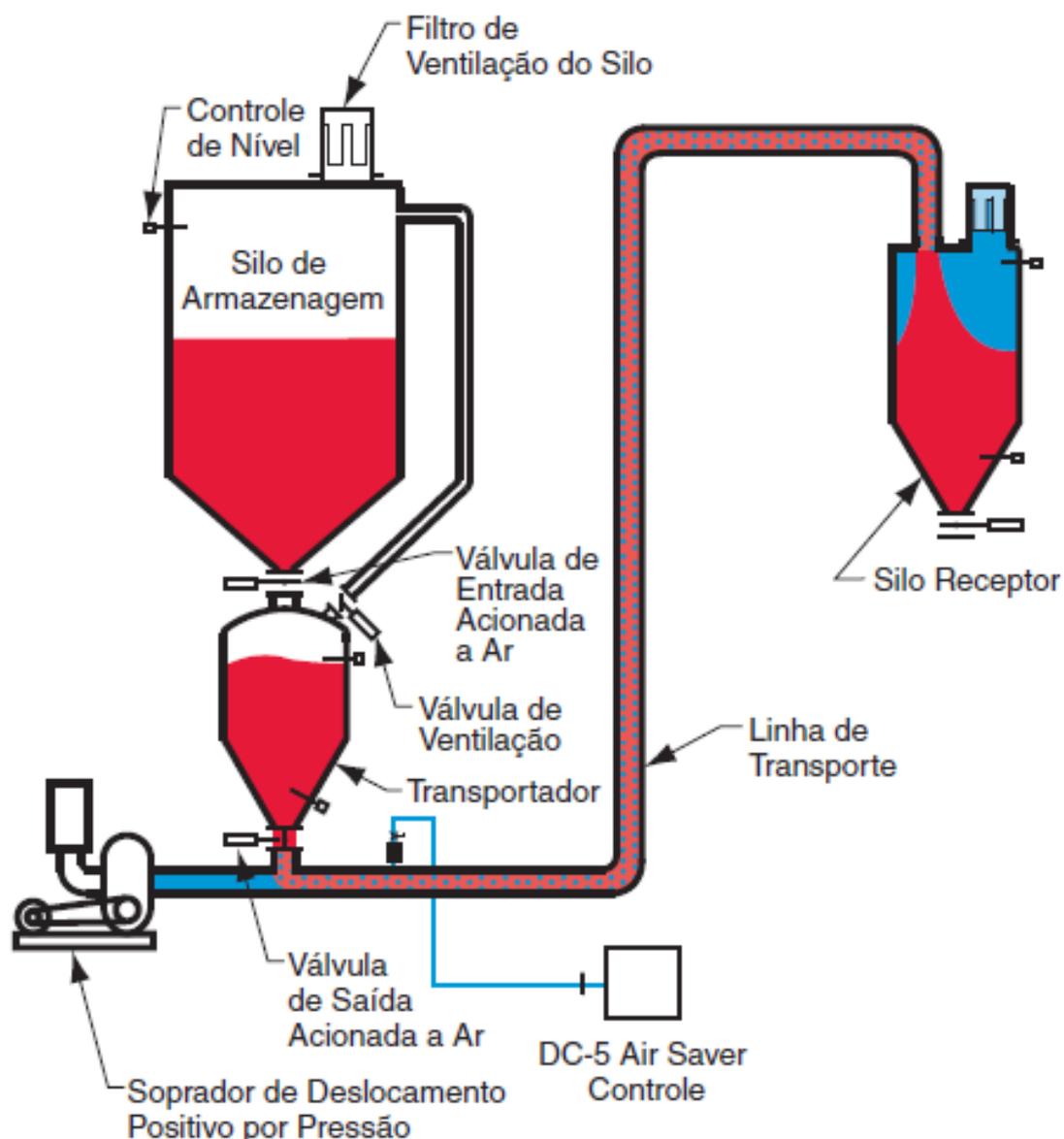


Figura 1.2 – Transporte Pneumático em Fase Diluída
 Fonte: Dynamic Air – Conveying Systems, 2019.

Listam-se na Tabela 1.1, de modo conservador, as velocidades mínimas de transporte usadas para alguns materiais deslocados por pneumáticos. Como regra geral, materiais com densidade aparente até aproximadamente 800 kg/m^3 pode ser transportado com uma velocidade de ar de $25,4 \text{ m/s}$ (Embrapa 2016).

Tabela 1.1 – Velocidade Padrão de Transporte por sistema pneumático

MATERIAL	VELOCIDADE	MATERIAL	VELOCIDADE
	m/s		m/s
Flor	17,8	Papel	25,4
Carvão em pó	20,2	Sal	27,9
Algodão	20,2	Milho (*)	28,4
Areia	20,2	Trigo	29,5
Popa de vegetais seca	22,9	Açúcar	30,5
Aveia	22,9	Cimento	35,6
Lã	25,4	pó de serra	35,6

(*) cereal com densidade similar a soja

A fase densa (Figura 1.3) opera normalmente com concentração de sólido acima de 30 % em volume, queda de pressão acima de 200 mm de coluna de água por metro e velocidade de gás em geral entre 1 e 5 m/s. Essa técnica é mais onerosa por utilizar sistema pressurizado, porém causa menos danos aos grãos, Moraes (2012).

Na Figura 1.3 pode-se observar um Sistema de Transporte Pneumático Fase Densa Contínuo, de baixa pressão e velocidade média. Utilizado para o transporte a curtas distâncias de materiais de baixa densidade e abrasividade, assim como para materiais sensíveis ao calor, quando há disponibilidade de ar comprimido a alta pressão, a exemplos de plásticos, detergente base em pó, trigo, cevada, milho, aveia, açúcar cristal, calcário, café em grãos, argila peletizada e ácido bórico. A velocidade típica na linha de transporte oscila entre 10 e 15 m/s e a pressão de transporte chega a 100 kPa.

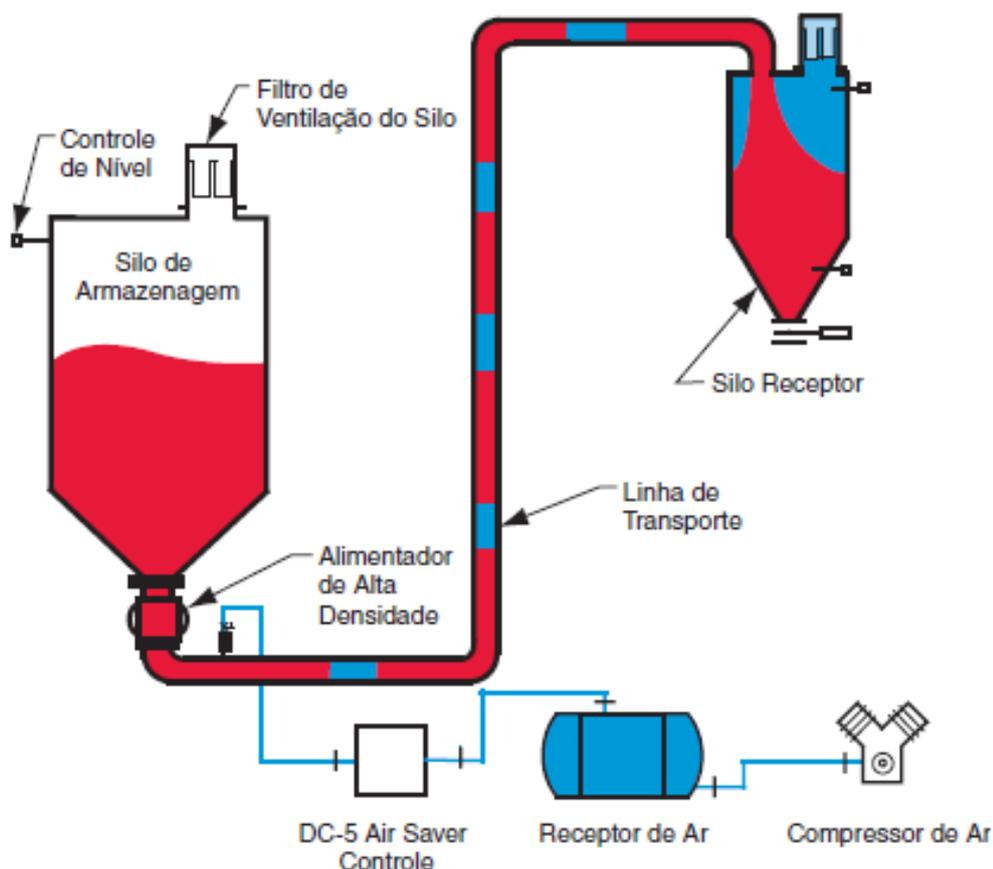


Figura 1.3 - Transporte Pneumático em Sistema de Fase Densa
 Fonte: Dynamic Air – Conveying Systems, 2019.

Segundo RHODES 2004, o transporte pneumático de sólidos pode ser usado para partículas que variam de pós finos aos grãos, contemplando granulometria entre 100 μm e 10 mm e densidades aparentes entre 16 e 3200 kg/m^3 , respectivamente. Esta faixa de granulometria e densidade permite antever que o transporte dutoviário para grão pode ser viabilizado tecnicamente, restando adequações aos parâmetros comerciais e a qualidade final da entrega dos produtos no ponto de destino.

Contudo, o modal dutoviário, bem como o transporte pneumático de particulados sólidos, apresenta desvantagens as quais merecem destaque (STOESS, 1970; MARCUS, 1990): alto consumo de energia; abrasão e desgaste interno na parte inferior dos dutos; degradação das partículas transportadas, transporte unidirecional; distâncias limitadas; projetos e dimensionamentos complexos.

Os terminais intermodais são complexos logísticos de transbordo que realizam a transferência de um modal de transporte ao outro, a exemplo do Centro de Silagem no planalto paulista, onde há ocorrência dos modais rodoviários, ferroviários e dutoviário.

O problema estrutural para escoamento da produção de grãos no Brasil requer dedicação e foco diferenciado no desempenho a partir da integração e combinação eficiente entre os modais, caracterizando o transporte multimodal (BOWERSOX; CLOSS; COOPER, 2007).

É neste cenário e foco que surge a opção do “Grãoduto”, alternativa relevante para a ampliação da capacidade portuária e segurança no transporte, principalmente nas densas regiões metropolitanas.

Especial atenção deve ser dedicada a prevenir a formação de atmosferas explosivas a partir de pós decorrentes de abrasão dos grãos em movimento (Figura 1.4), sendo necessários sistemas, tecnologias e medidas para captação de pós com dispositivos anti explosão, no contexto do *framework Security-Safety-Insurance* descrito por Figueiredo (2015).

A norma da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), NBR IEC 60079-10 define atmosferas explosivas como sendo uma “mistura com o ar, sob condições atmosféricas, de substâncias inflamáveis na forma de gás, vapor, névoa ou poeira, na qual, após a ignição, inicia-se uma combustão autossustentada através da mistura remanescente”. Desta forma, evitar a poeira inflamável e a consequente classificação de área fica incorporado ao projeto básico para o escoamento da soja pelo corredor logístico.



Figura 1.4 - Descarga de soja gerando poeira em ambiente fechado.
Fonte: Google Imagem, 06/11/2017.

O desgaste e a quebra da soja estão relacionados diretamente com a viabilidade econômica deste processo e desta tecnologia para longas distâncias, estímulo para as pesquisas e certificação dos procedimentos para o transporte dutoviário de grãos para um país dependente dos agronegócios e carente de soluções logísticas.

O transporte pneumático de soja tende a se tornar uma alternativa viável para mitigar a demanda de caminhões e trens nos centros urbanos, transferindo os veículos para regiões menos densas, locais onde podem ser efetuados o descarregamento a partir de novas plataformas logísticas, e destes pontos, efetuar o transporte direto para os porões dos navios em alta velocidade, sem interrupções de escoamento durante os períodos de chuva, aliviando o trânsito rodoferroviário no entorno dos complexos portuários nacionais ora saturados.

Pelo exposto, o importante gargalo no transporte de soja entre o planalto paulista e o porto de Santos pode ser mitigado pelo emprego de um sistema com técnica científica que contemple o deslocamento desse cereal no interior de dutos movimento pelo fluido ar.

1.1 Objetivo Geral

Este trabalho teve como objetivo propor uma opção logística para ampliar a capacidade de exportação e importação portuária, projeto básico de transporte pneumático de soja, entre a região da Vila de Paranapiacaba no planalto paulista e o porto de Santos na região de Cubatão utilizando-se da servidão de passagem do traçado ferroviário do funicular, sistema desativado e antropizado.

1.2 Objetivos Específicos

O presente trabalho teve ainda como objetivos específicos fundamentar teoricamente os seguintes itens:

- a) Terminal Intermodal para descarga dos caminhões e trens - denominado de Complexo de Silagem de Grãos no planalto paulista;
- b) Transportador Dutoviário Pneumático de Soja – denominado de sistema grão dutoviário, dimensionado para transportar soja no interior de dutos metálicos, entre dois terminais operacionais de graneis, insuflado por ar;
- c) Sistema Pneumático Portuário - denominado de sistema embarcador e separador de fluidos e sólidos, dimensionado para atender a operação de embarque direto da soja para os porões dos navios atracados no Terminal Portuário;
- d) O valor e demanda dos fretes rodoferroviários economizados pelo corredor logístico ,equivalentes ao fluxo soja desviado para o sistema grãodutoviário com base na tabela de fretes praticados na região portuária;
- e) A demanda mitigada de gases Geradores do Efeito Estufa (GEE), com base na Tabela Nacional de Inventario de Emissões Atmosféricas de veículos automotores rodoviários, equivalentes ao fluxo de veículo automotores desviado para o sistema grãodutoviário;

1.3 Justificativas e Relevância do Tema

Considerando o potencial agrícola do país e o consumo mundial de grãos estimado em 2,23 bilhões de toneladas (MTPA 2017), com crescimento médio de

2,5 % aa, depreende-se que o consumo mundial tem crescido em torno de 55,75 milhões de toneladas anuais, anunciando saturação do sistema logístico.

Dos 62 portos nacionais, é fato que todos estão inseridos em regiões urbanas densamente ocupadas e estão com restrições de áreas para expansão, principalmente para os *commodities* agrícolas que dependem de grandes áreas para construção de silos horizontais ou verticais e exigem plataformas logísticas com acessibilidade rodoviária e ferroviária (Quadro 1.3), e ainda grandes áreas para estacionamentos rotativos, preferencialmente distante dos centros urbanos.

Reter os veículos transportadores de soja no planalto paulista, em plataformas distantes do centro urbano da região metropolitana da baixada santista significa abrir a possibilidade de crescimento de outros produtos destinados a exportação.

Para um país essencialmente agrícola, ampliar a capacidade de escoamento da sua safra significa elevação do PIB e redução dos custos logísticos que orbitam acima de 16 % do PIB nacional, penalizando toda a cadeia produtiva.

Além desta possibilidade para o sistema dutoviário pneumático, onde os limites de distâncias estão reprimidos por falta de pesquisas e literatura técnica, agrega-se a melhoria da qualidade de vida da região metropolitana da baixada santista, visivelmente afetada pela recessão econômica e geração de emprego.

Quadro 1.3 Comparativo entre sistemas transportadores.

Cenário Comparativo entre os Sistemas Transportadores		
Item	Sistema Atual - rodoferroviário	Pós Grãodutoviário
caminhões e trens - operação	longas filas para descarregarem seus veículos no Porto. Estacionamentos rotativos sobrecarregados	Não precisam mais descer a serra. Descarga sem filas e Estacionamento gratuito.
financeiro	Custos adicionais com sobrestadia, diárias e pernoites dos motoristas. Frete mais elevado do planeta	Redução dos custos com frete e fim das sobretaxas

Continua

Continuação

Cenário Comparativo entre os Sistemas Transportadores		
Item	Sistema Atual - rodoferroviário	Pós Grãodutoviário
meio ambiente	Elevada emissão de Gases de Efeito Estufa (GEE) pelo modal mais poluente - rodoviário	sem geração de GEE
sistema viário	Rodovia Anchieta congestionada na descida da serra. Apenas uma pista para caminhões Sistema Ferroviário insuficiente para atender a demanda	Descongestionamento do sistema rodoferroviário no porto Opção de um novo modal
eficiência da frota rodoviária e ferroviária	Média de 6 viagens mensais. As longas filas de espera promovem baixa produtividade e dificuldades financeiras para os transportadores	Média de 10 viagens mensais. Eficiência e baixo custo operacional
social	Transtornos a comunidades no entorno do porto e a vias de acesso urbanas	Melhoria da qualidade de vida urbana
capacidade de exportação	120 milhões de toneladas de soja anuais - Brasil	160 milhões de toneladas anuais

1.4 Organização da Dissertação

Esta dissertação está organizada da seguinte forma:

Na introdução foi apresentado um breve histórico com destaque para a importância logística de um novo corredor logístico para o porto de Santos e para o país. No item 1 são apresentados os objetivos do trabalho, a justificativa do projeto básico, a relevância do tema e a importância regional do trabalho científico e seus reflexos diretos para a baixada santista e para o país.

É feita a fundamentação teórica da proposta do corredor logístico no item 2, sua localização, origem e destino, suas curvas e declividades, a importância do aproveitamento do ramal ferroviário desativado e as opções de destino na região portuária da Baixada Santista.

No item 3 apresentam-se os gráficos e tabelas para permitir a quantificação da demanda de veículos que podem ser destinados ao novo corredor logístico e a integração entre os sistemas viário existente e a opção dutoviária pneumática, seus pontos fortes e fracos.

O item 4 é finalizado com os principais pontos do trabalho científico e sugestões para melhorar a performance do transporte pneumático e novas pesquisas. A comparação de tecnologias comerciais com a integração do escoamento em fase densa, contemplando o transporte para pequenas distâncias o qual foi apresentado como base de partida de novas pesquisas e combinação de processos.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Técnicas Adotada

Foi proposta uma alternativa logística para reduzir o fluxo de caminhões e trens destinados ao complexo portuário de Santos, transferindo parte desse transporte rodoferroviário para o escoamento dutoviário pneumático em fase diluída com mitigação dos gargalos logísticos nos centros urbanos e portuários.

O projeto do sistema de descarga dos trens e caminhões em Paranapiacaba e o projeto do sistema de embarque no porto de Santos foi dimensionado com base em dados oficiais de produção e exportação de soja nos últimos 5 anos (Apêndice A, Fonte Codesp 2018).

Com base no levantamento estatístico do Apêndice C2 foi adotado a capacidade viária de 7.000 caminhões por dia, equivalente a 231.000 t/dia de grãos, considerando carga média de 33 t/caminhão, considerando caminhão graneleiro de

6 eixos. No dimensionamento do transporte ferroviário foi adotada a demanda de 1.000 vagões por dia, equivalente a 60.000 t/dia de soja, adotando carga média de 60 t/vagão.

O traçado dos dutos entre a região de Paranapiacaba e o porto foi projetado sobre o desativado leito ferroviário do sistema funicular, tendo em vista que se encontra antropizado e não traz danos extras ao meio ambiente.

No projeto pneumático foi desconsiderada a técnica da fase densa com pressão positiva em função dos sopradores industriais operarem comumente com limite de 0,5 bar (absoluta negativa) propiciando em geral distâncias máximas de 30 m. Foi preterido o sistema em fase densa em função do projeto não ser bem estabelecido segundo a nona edição do *handbook* de engenharia química *Green & Southard ed. (2019)* e de difícil previsão da perda de carga total uma vez que se utiliza de ar secundário de injeção.

Optou-se pelo projeto do transporte pneumático em fase diluída, sob pressão positiva, pela disponibilidade de resultados experimentais com soja realizados por Crispim (2016) que operou com velocidade de ar entre 12,07 m/s e 16,56 m/s na Unidade Piloto. Nesse trabalho foi recomendada a velocidade de 15,00 m/s para dimensionamento do projeto e mitigar a quebra dos grãos de soja e o desgaste por abrasão da parte inferior dos dutos.

O projeto básico do sistema pneumático em fase diluída com pressão positiva foi realizado a partir dos nomogramas clássicos (Apêndice D) da *Frotonics Division, Allied Industries*, disponibilizado por *Perry & Green (1997)*.

2.2 Unidade Piloto de Transporte Pneumático

Os parâmetros de friabilidade da soja, perda de carga, vazão, velocidade e coeficiente de atrito foram obtidos das pesquisas e trabalhos experimentais de Crispim (2018) e Tavares (2014), pesquisas efetuadas na unidade piloto de transporte pneumático de soja em fase diluída projetada e instalada no Laboratório de Operações Unitárias da Universidade Santa Cecília - UNISANTA, a qual também

é a unidade de estudo do presente trabalho (Figura 2.1 e 2.2), disponível para pesquisas. Como fundamentos teóricos dos métodos foram empregados para o dimensionamento e comparação do sistema pneumático da proposta de projeto em fase diluída para transporte para longa distância.

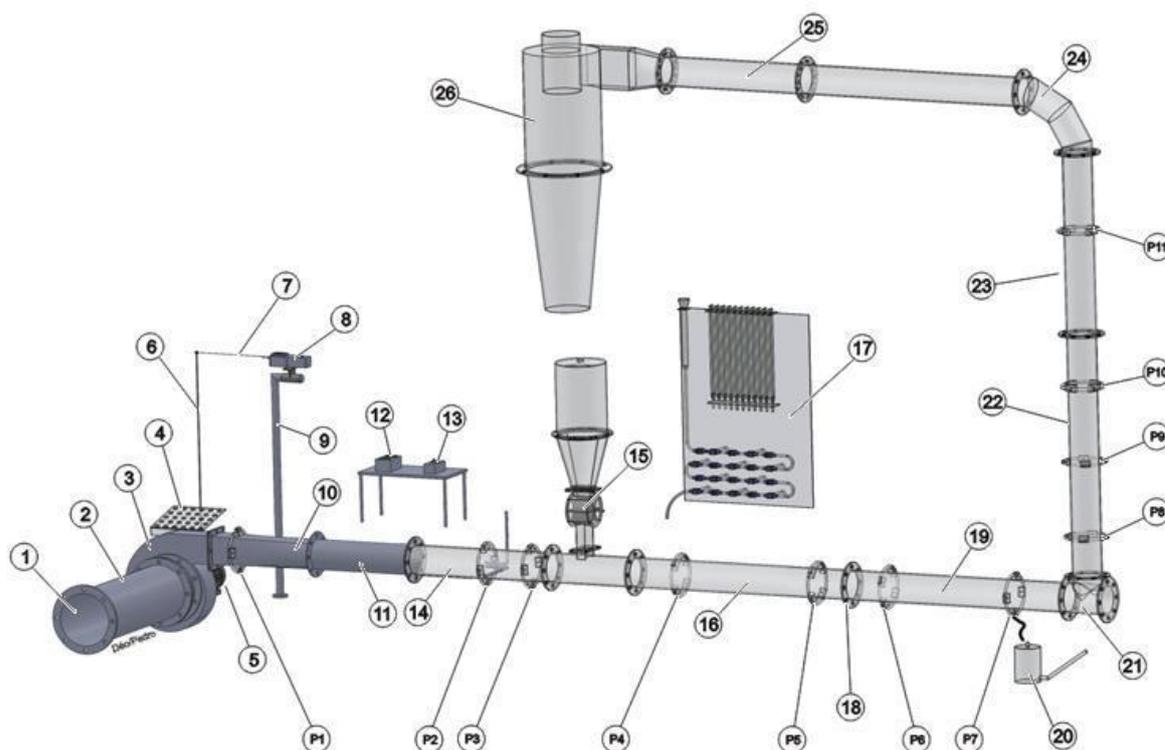


Figura 2.1 - Esboço da Unidade Piloto de transporte pneumático em fase diluída: 1) Tubulação de entrada do ar de alimentação da unidade experimental; 2) Duto de sucção do ventilador; 3) ventilador centrífugo; 4) "cooler" do motor; 5) motor elétrico síncrono em balanço; 6) haste fixa ao motor para determinação da potência; 7) linha de conexão da haste ao dinamômetro; 8) dinamômetro; 9) suporte do dinamômetro; 10) tubo adaptador de seção retangular para seção circular com a tomada P1; 11) tubo de aço carbono de 117 mm de diâmetro interno com colméia para direcionar o escoamento; 12) inversor de frequência do motor do ventilador; 13) controlador de velocidade da válvula rotativa; 14) duto de acrílico de 117 mm de diâmetro interno com tubo de Pitot horizontal e vertical e dois anéis piezométricos (P2 e P3); 15) válvula rotativa com silo; 16) tubo de acrílico de 1000 mm de comprimento com tomadas P4 e P5; 17) banco de piezômetros para medida da pressão estática; 18) flange; 19) duto de acrílico de 1000 mm de comprimento com tomadas P6 e P7; 20) manômetro inclinado; 21) tê saída de lado sem prolongamento; 22) tubo vertical de 1000 mm de comprimento com três tomadas piezométricas P8, P9 e P10; 23) tubo vertical de 760 mm de comprimento; 24) curva em gomos; 25) duto de retorno para o ciclone 26) ciclone. (MORAES, 2012).

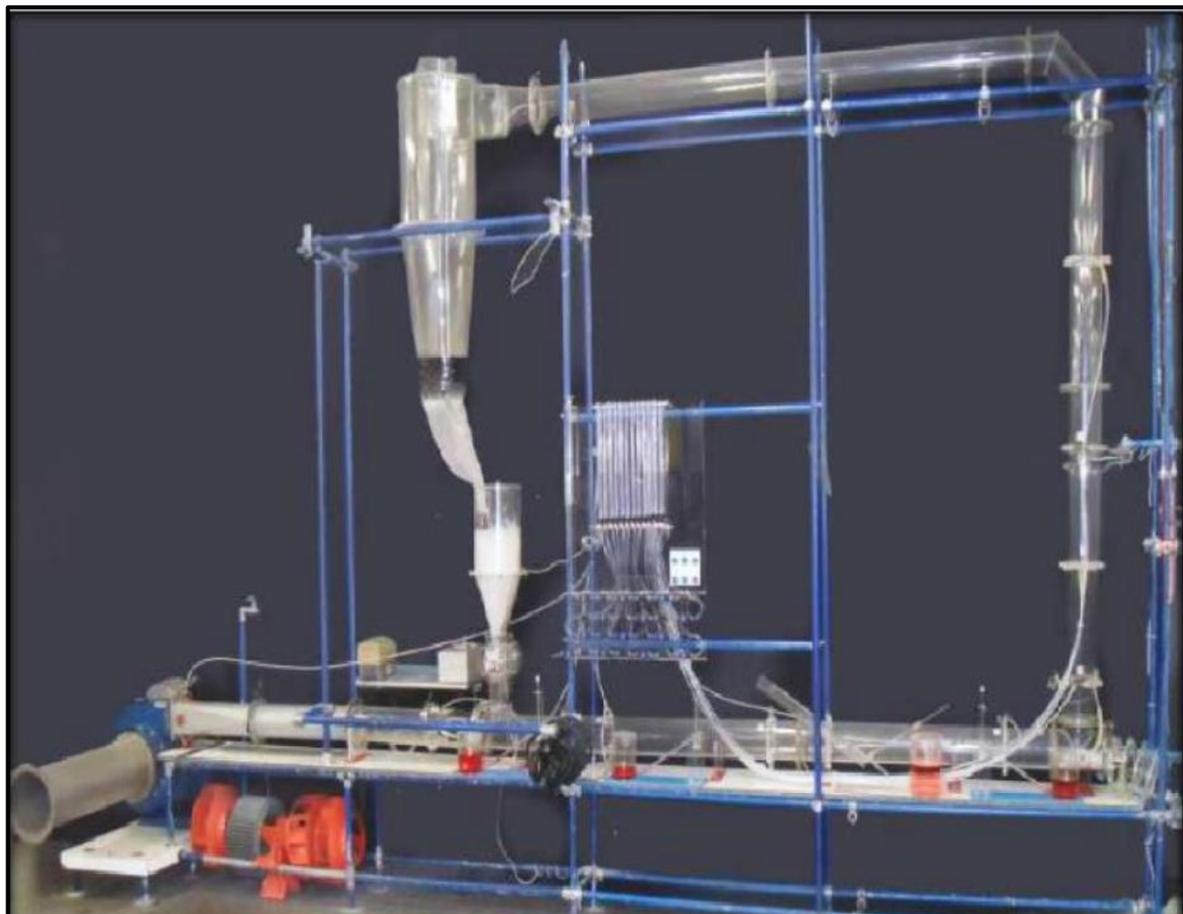


Figura 2.2 - Unidade piloto de transporte pneumático instalada no Laboratório de Operações Unitárias da UNISANTA (MORAES, 2012).

2.3 Demanda de exportação de graneis dos últimos 5 anos

Levantamento estatístico do período entre 2014 e 2018 no Porto de Santos demonstra como síntese geral a movimentação de 13.160.333 de caminhões e 1.935.338 vagões ferroviários, conforme Apêndice C1, extraído do Mensário da Codesp (2019). Significa movimentação média anual de 3,02 milhões de veículos no sistema rodoferroviário do maior porto da América Latina.

A maior contribuição desta demanda tem origem na movimentação de graneis, principalmente graneis de origem vegetal. O Apêndice C5 demonstra a evolução média anual da movimentação de graneis com destaque para a exportação de soja em grãos e farelo de soja, somatória de 60,8% da demanda total, produtos factíveis ao transporte pneumático.

a) movimentação de caminhões

Segundo a Codesp (2019) a movimentação de graneis vegetais no Porto de Santos, no período entre 2014 e 2018, foi realizada por 2.600.482 caminhões, sendo 76 % realizados na margem direita do canal de navegação (Tabela 2.1), maior densidade demográfica da região metropolitana da baixada santista.

As tabelas constantes dos Apêndices A e B foram projetadas nos gráficos resultantes do modal rodoviário e ferroviário (Apêndice C1) como constatação da demanda e gargalos logísticos recorrentes no sistema viário urbano e portuário.

Os dados portuários tem origem oficial no mensário estatístico da Codesp, Companhia Docas do Estado de São Paulo (Apêndice C2) e são réplicas de informações oficiais daquelas divulgadas pelo Ministério dos Transportes Portos e Aviação Civil (MTPA).

Tabela 2.1- Movimentação média de Caminhões no Porto. Fonte CODESP 2019

Total 2014/2018	13.160.893
Média anual	2.632.197
Média mensal	219.349
Média diária	7.311
Margem Direita	65 %
Margem Esquerda	35 %

b) movimentação de vagões

A Codesp (2019) apresentou movimentação de graneis no Porto de Santos, no período entre 2014 e 2018, realizada por 1.935.338 vagões, sendo 60 % realizados na margem direita, sistema viário mais denso da região metropolitana.

A escarpa da Serra do Mar restringe a participação do modal ferroviário no Porto de Santos devido ao desnível superior a 800m, rampa convencional (active/declive) de 1 %, e alto custo da infraestrutura. Pelo sistema da cremalheira as locomotivas são tracionadas por rodas dentadas, mas com restrição operacional significativa.

Tabela 2.2 - Movimentação Média de Vagões no Porto de Santos - Fonte CODESP 2019

Total 2014/2018	1.935.338
média anual	387.068
média mensal	32.255
média diária	1.075
Margem Direita	65 %
Margem Esquerda	35 %

Conforme o mensário da Codesp (2019) a movimentação geral de cargas no Porto de Santos, no período entre 2014 e 2018, foi realizada em média anual por 387.068 vagões. (Apêndice B e C1) e há tendência de crescimento de até 25 % nos próximos anos considerando obras de ampliação já concluída no Terminal Graneleiro da ADM e do Terminal TES em andamento e obras recém concluídas no Terminal VLI-TIPLAN em Cubatão.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Corredor Logístico de Grãos

O centro de silagem, atualmente, está espalhado pelo complexo portuário santista, tanto na margem esquerda quanto na margem direita, dispersando o fluxo de caminhões e trens, gerando emissão de gases de efeito estufa e material particulado na atmosfera, principalmente nos municípios de Santos, Cubatão e Guarujá.

Apresenta-se na Figura 3.1 a vista aérea da região da Serra do Mar com o traçado do ramal ferroviário, grafado em vermelho, a origem e destino do corredor logístico, respectivamente entre a região de Paranapiacaba e o Porto, concentrando a atividade em local distante dos centros urbanos.

Foi definido um “layout” operacional e logístico para recebimento dos trens e caminhões e o local de estocagem dos grãos, conforme Figura 3.2.

3.1.1 Centro de Silagem de Soja

O Centro de Silagem foi idealizado como plataforma tri modal, acessibilidade rodoviária, ferroviária e dutoviária, para recepção e embarque da soja, plataforma logística integradora do corredor logístico.

A área é privativa e está localizada em região contígua a malha ferroviária, próximo à Estação Ferroviária de Campo Grande no Município de Santo André-SP, distante 4,5 km da Vila de Paranapiacaba e 16 km do Porto de Santos.

O “layout” demonstra o arranjo funcional tanto da rodovia quanto da ferrovia com destaque para a infraestrutura de viradores de vagões e caminhões.



Figura 3.2 - "Layout" do centro de silagem de soja. Fonte: LPC Latina

O Centro de Silagem teve sua capacidade dimensionada para atender uma demanda de até dois navios simultâneos atracado no porto. Destaque para a silagem (Figura 3.3) composta por 20 silos cilíndricos verticais.

Os navios graneleiros que atracam no porto de Santos tem sua capacidade máxima de carga de 80 mil toneladas, limitada pelo canal do Panamá e por este motivo são chamados de Panamax.

Com esta visão operacional o projeto do Centro de Silagem foi dimensionado para armazenar o equivalente a 4 navios Panamax, dividindo a operação dos silos em 50% em fase de recebimento de soja e 50% destinado ao embarque de soja, operação 24 horas por dia e 365 dias por ano ininterruptos.

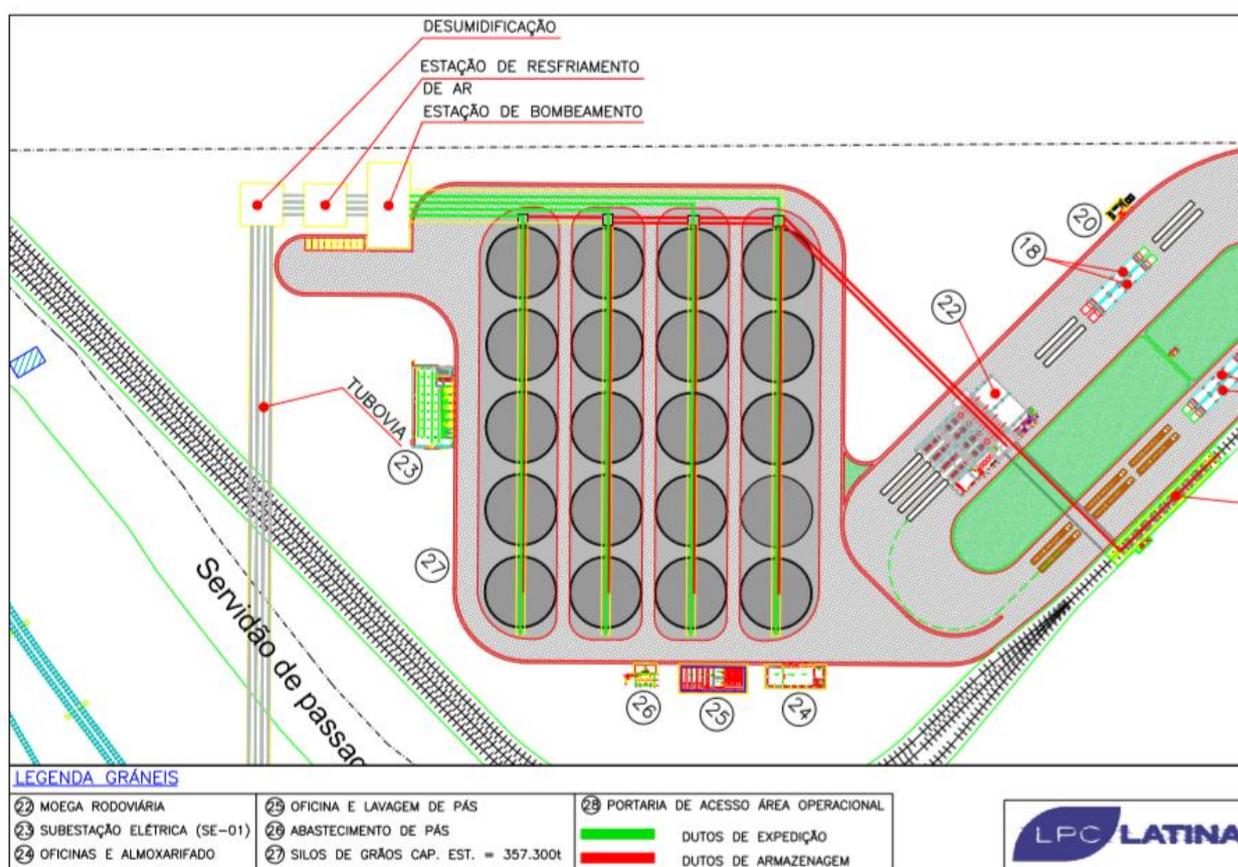


Figura 3.3 - Detalhes do centro de silagem vertical, composta por 20 silos com capacidade unitária de 20 mil toneladas, com destaque para estação de bombeamento e estação de resfriamento de ar:

As linhas vermelhas referem-se ao sistema de recepção de soja com origem nos descarregadores rodoviário e ferroviário. Este sistema é formado por modelagem híbrida combinando sugadores e correias transportadoras.

As linhas verdes referem-se ao sistema de expedição e integração como sistema de transporte pneumático, partindo em fase densa através de sugadores, migrando para fase diluída para transposição da escarpa da serra do mar.

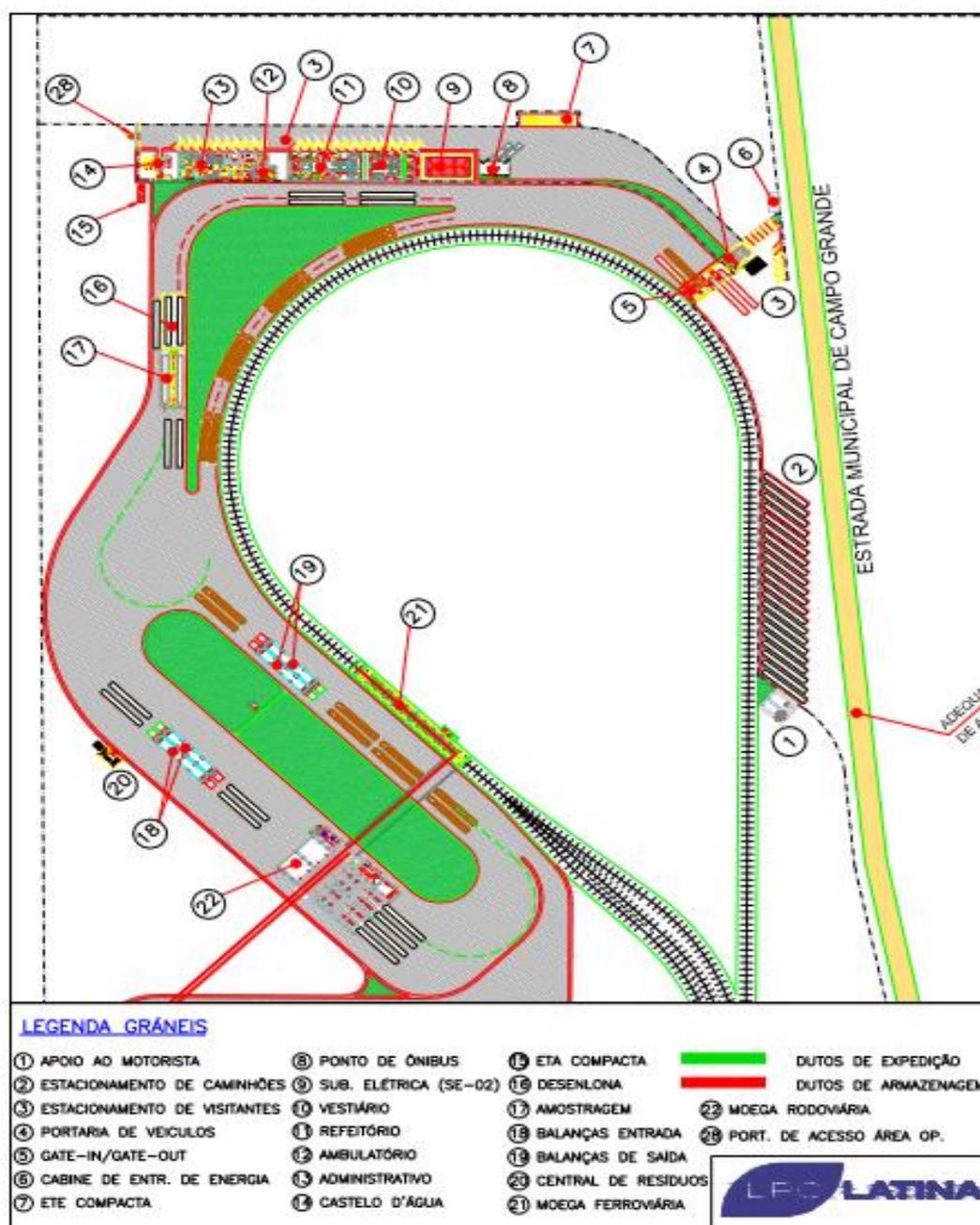


Figura 3.4 – Complexo logístico para recepção dos caminhões e trens, com destaque para a pera ferroviária

Visando o atendimento da demanda de caminhões e trens foi dimensionado um sistema para descarga direta para moegas através de viradores de veículos em moegas (Figura 3.5), e na sequência, através do transportador pneumático e/ou sistema de esteiras rolantes, a soja é transportada para os silos.

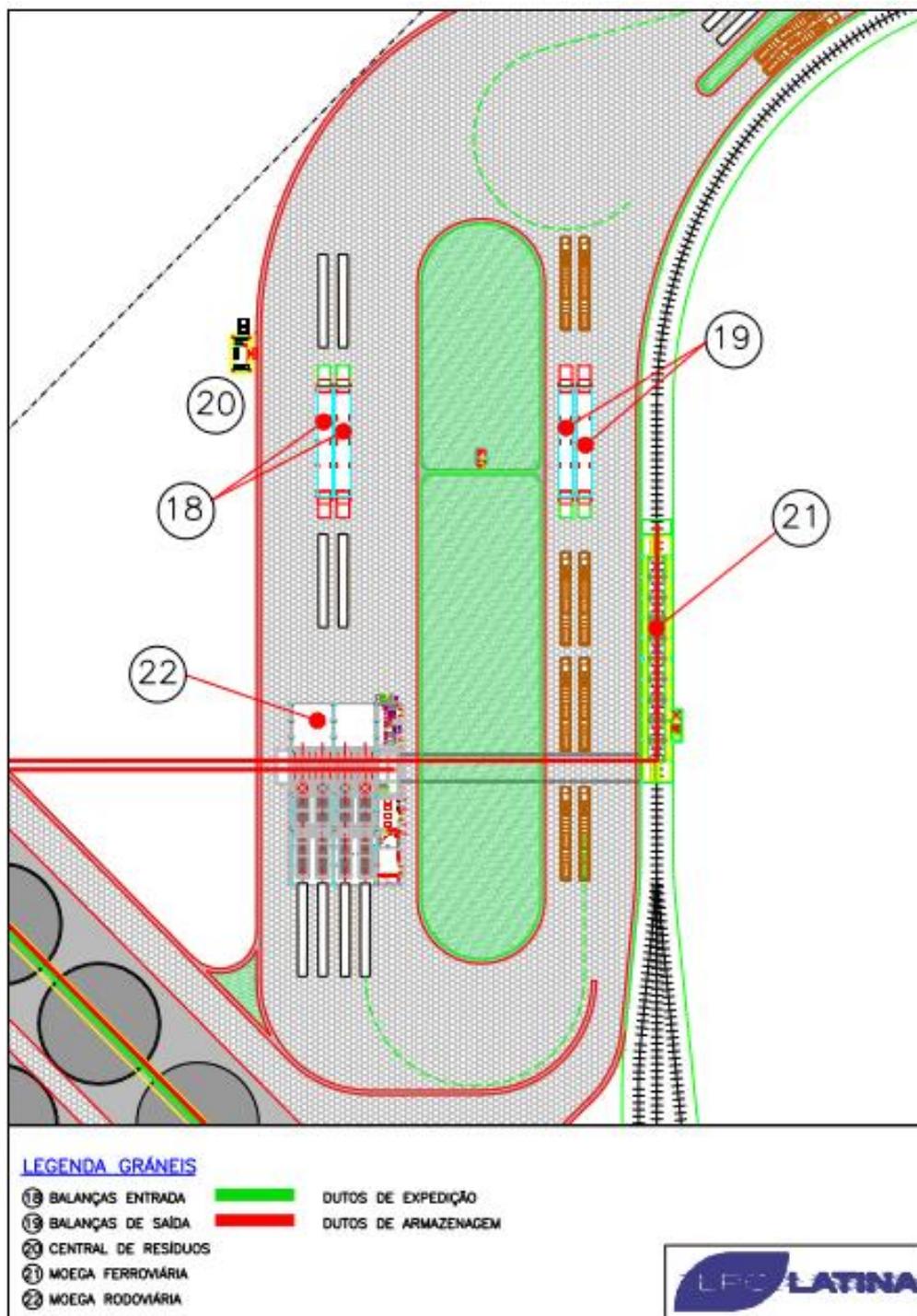


Figura 3.5 - Complexo descarregador de trens e caminhões, com destaque para moegas em 21 e 22, sistema de pesagem em 18 e 19 e 20 com central de resíduos e desemboiramento. Fonte: LPC Latina Engenharia

Neste sistema descarregador é realizado a especial tarefa de dosagem entre fluido transportador e sólidos (soja).

A infraestrutura do Centro de Silagem foi dimensionada para armazenar 400 mil toneladas de soja, o equivalente a 5 navios categoria Panamax com porte de 80.000 toneladas.

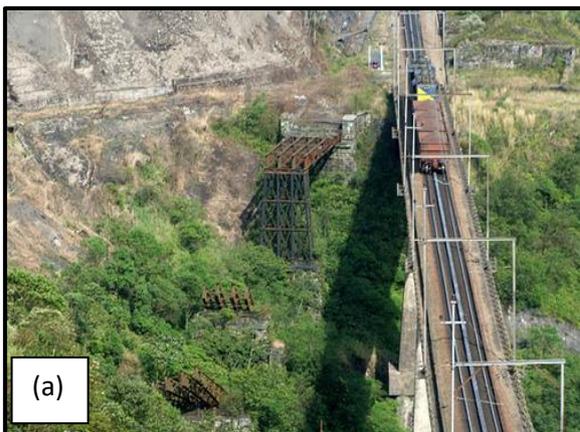
Trata-se de uma estrutura convencional dimensionada para efetuar o recebimento e descarga de caminhões e trens, reduzindo a demanda de veículos na serra do mar, ora saturada, resultando em ampliação da capacidade do Complexo Portuário de Santos.

3.1.2 Modelagem do Traçado Dutoviário

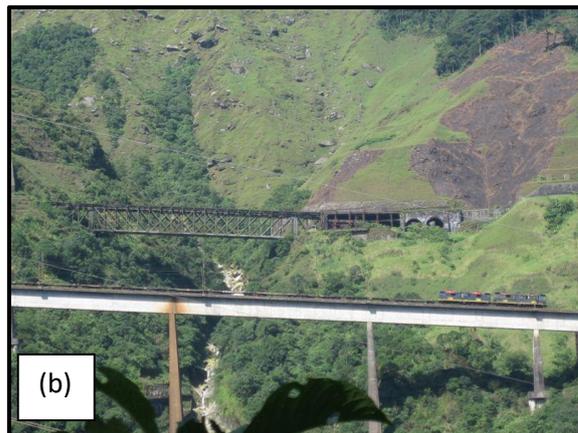
O sistema pneumático de transporte da Vila de Paranapiacaba até o município de Cubatão foi dividido em três trechos:

- a) Trecho 1 – aclave 3 % – pressão negativa – 5.000 m – Município de Santo André.
- b) Trecho 2 – declive 8 % – pressão negativa – 8.000 m – Município de Cubatão.
- c) Trecho 3 – ligeiro aclave – pressão positiva – 3.000 m – Município de Cubatão.

Na Figura 3.6 e 3.7 tem-se alguns detalhes do leito ferroviário do sistema funicular para instalação do sistema pneumático e na Figura 3.8 o perfil quadriculado a cada 500 m traz detalhes da rampa de acesso, entre origem e destino, planalto e porto, com declividade máxima de 8 %.



(a)



(b)

Figuras 3.6 - a) Traçado do sistema dutoviário em paralelo ao ramal do funicular, b) declividade do sistema da cremalheira em paralelo com o funicular desativado
Fonte Google imagem 12/09/2018.



(a)



(b)

Figuras 3.7 - a) traçado do sistema dutoviário em paralelo ao ramal do funicular, b) curvas de raios longos em declividade na região da Vila de Paranaipacaba
Fonte Google Earth em 12/09/2018.

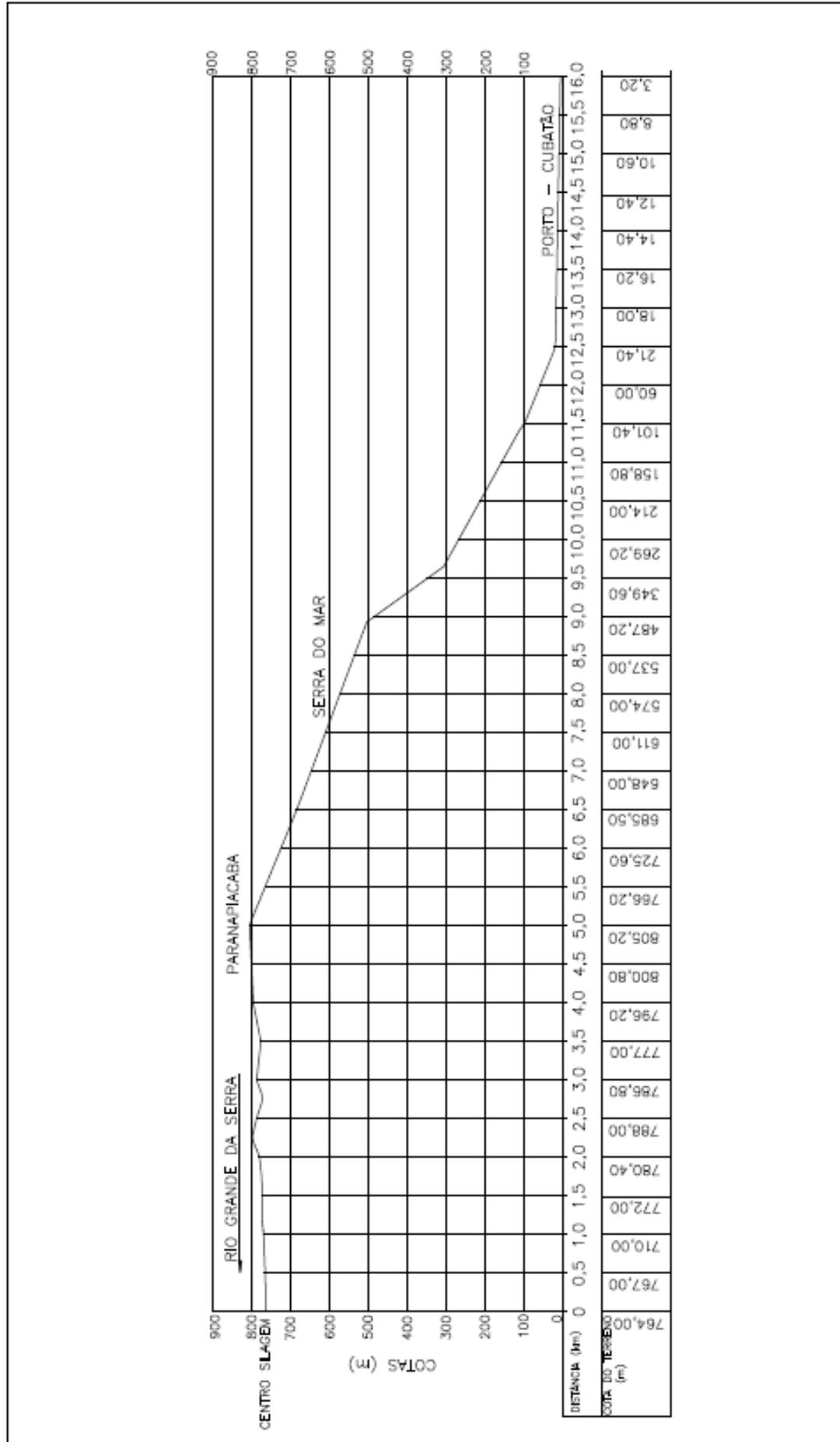


Figura 3.8 - perfil da rampa do traçado dutoviaro – quadriculado 500 m x 32 = 16.000 m
 Fonte: LPC Latina Engenharia

3.1.3 Memorial de Cálculos do Transportador Pneumático

A partir dos nomogramas do Anexo D referentes ao projeto clássico e básico tem-se:

- a) Com velocidade de 15 m/s (900 m/min) e o diâmetro máximo de 254 mm obteve-se 45 m³/min (0,73 m³/s) de ar no nomograma 1 (Apêndice D1);
- b) No nomograma 2 (Apêndice D2) com 45 m³/min e a máxima capacidade de 45.360 kg/h determinou-se a relação de 14 kg de sólidos/kg de ar;
- c) Entrando no nomograma 3 (Apêndice D3) com o diâmetro interno do duto de 254 mm e a vazão de 45 m³/min quantificou-se o fator de projeto de 6;
- d) A perda de carga aproximada de 33 KPa (0,34 Kgf/cm², 3,4 mca) foi obtida com o comprimento equivalente máximo de 304,8 m o fator de projeto 6 e a relação de 14 kg de sólidos/kg de ar através do nomograma 4 (Apêndice D4);
- e) O valor de 46 hp foi obtido no nomograma 4 com a perda de carga de 33 KPa e a vazão de ar de 45 m³/min pelo nomograma 5 (Apêndice D5).
- f) A capacidade de 45,35 t/h dada pelo projeto básico com um duto de 254 mm sugere um banco de 22 tubos para transportar 1000 t/h.
- g) O tempo de deslocamento da soja por 16.000 m, entre o Centro de Silagem e o Porto de Santos na região de Cubatão, a uma velocidade de 15 m/s será de 1.066,7 s ou 17,8 mim.

3.1.4 Separador Fluido e Sólidos no Porto

A Estação Separadora de Fluido e Sólido se destaca no porto com a função de abastecer aos navios, sendo estimado três separadores para atender o *ship's loader* de cada porão em operação de embarque. Ilustra-se na Figura 3.9 um modelo industrial em aço inox, similar à necessidade portuária de transporte pneumático de grãos, com destaque para o ciclone amortecedor de velocidade e impacto para mitigar danos aos grãos.



Figura 3.9 - Modelo de Ciclone Industrial Metálico, Separador de Sólido/Fluido.
Fonte: Internet, Google Imagem em 30/09/2018.

3.1.5 Sistema Pneumático para Curta Distância

Apresenta-se na Figura 3.10 o fluxo de grãos e saída do fluido em corte 3D. A saída de grãos pelo ciclone compõe a infraestrutura projetada para atender as remoções internas no Centro de Silagem e o embarque nos navios no Porto, em substituição às tradicionais esteiras transportadoras.

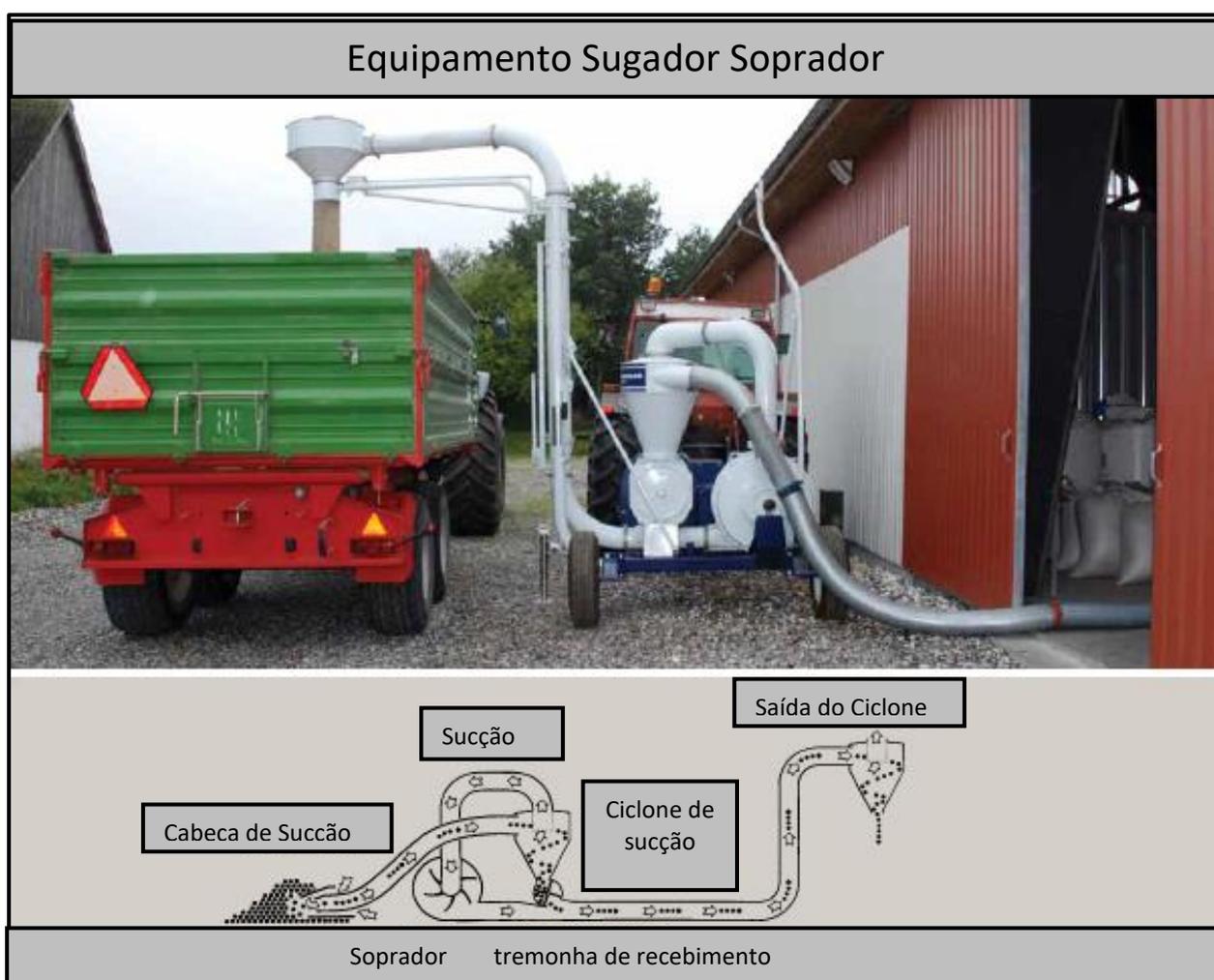


Figura 3.10 - Fluxo esquemático de equipamento transportador pneumático.
Fonte: Catálogo Digital da Kongskilde – www.kongskilde.com

Processo de escoamento pneumático denominado de sugador soprador desenvolvido pela Kongskilde – para transporte a distância inferior a 200 m.

A modelagem física dos pequenos transportadores pneumáticos em fase densa (Figuras 3.10 e 3.11) possui esquematização similar ao transportador

pneumático proposto para o corredor logístico e possui capacidade operacional para o transporte de soja tanto no Centro de Silagem quanto no Complexo Portuário, servindo respectivamente na alimentação do sistema transportador pneumático quanto no embarque dos navios.

A Tabela 3.1 refere-se ao transporte pneumático em fase densa para pequenas distâncias e movimentações de soja e tem como distância máxima de transporte 200 m. O equipamento TRL 1000+CAD 50, consta a maior capacidade de transporte, tabelado em 23,5 t/h de soja, resultante inferior ao escoamento em fase diluída para longa distância de 45,35 t/h, objeto da pesquisa.

Tabela 3.1 - Capacidade de transporte pneumático de grãos por metro
Fonte: Catálogo da Fabricante Kongskilde – Dinamarca.

Equipamentos Capacidade t/h	Comprimento da tubulação (m)										
	10	20	30	40	50	60	80	100	120	150	200
TRL 20+TF 20	2,3	1,9	1,6	1,3	1,1	0,9	0,7	0,5			
TRL 40+TF 40	4,0	3,3	2,8	2,5	2,1	1,9	1,5	1,1			
TRL 55/75+TF 55	4,3	3,7	3,1	2,7	2,4	2,1	1,6	1,3	1,1	0,8	
TRL 55/75+CA 20	8,2	6,9	6,0	5,2	4,6	4,1	3,3	2,7	2,2	1,7	
TRL 100+CA 20	15,3	12,9	11,1	9,7	8,5	7,5	6,0	4,9	4,0	3,0	
TRL 150+CA 20	18,5	17,9	16,2	14,1	12,3	10,9	8,7	7,1	5,8	4,3	2,7
TRL 150+CA 30	22,3	18,8	16,2	14,1	12,3	10,9	8,7	7,1	5,8	4,3	2,7
TRL 200+CA 20	17,5	17,4	17,3	17,3	16,3	14,6	11,8	9,8	7,8	6,4	4,3
TRL 200+CA 30	27,9	23,8	20,6	18,1	16,0	14,3	11,7	9,7	7,8	6,3	4,3
TRL 300+CA 30	29,7	28,7	27,0	23,8	21,2	19,0	15,7	13,2	11,2	9,0	6,5
TRL 300+CA 40	36,1	31,0	27,0	23,8	21,2	19,0	15,7	13,2	11,2	9,0	6,5
TRL 500+CA 40	49,5	44,0	39,5	35,8	32,6	30,0	25,6	22,3	19,6	16,5	12,7
TRL 600+CAD 50	59,3	52,7	47,4	42,9	39,2	36,0	30,7	26,7	23,4	19,7	15,2
TRL 750+CAD 50	74,0	65,8	59,2	53,6	48,9	44,9	38,3	33,3	29,4	24,6	19,0
TRL 1000+CAD 50	91,6	81,4	73,2	66,3	60,5	55,5	47,3	41,2	36,4	30,4	23,5



Figura 3.11 - Equipamento Transporte Pneumático em Fase Densa - entre silos e veículos de transporte rodoviários.

Fonte: Catálogo digital da Kongskilde www.kongskilde.com em 06/08/2018

3.1.6 Conexão ao Terminal Portuário Exportador

A chegada da malha dutoviária ocorre no município de Cubatão e apresenta três opções para conexão portuária com capacidade para absorver a demanda de exportação projetada:

- a) Terminal Privativo da Usiminas
- b) Terminal Privativo da Vale – TIPLAM
- c) Terminal a ser construído

Para integração entre o sistema dutoviário e o Complexo Portuário foi avaliada algumas opções com a possibilidade de combinação entre as estruturas existentes (Figura 3.12):

- b1 – sistema pneumático, fase densa - transição entre 1 moega e até 3 porões de navios simultaneamente;
- b2 – sistema de correia transportadora, fazendo a transição entre 1 moega e 1 porão de navio, sendo possível desdobrar para 3 porões de navios simultaneamente;

b3 – sistema convencional – fazendo a transição através de um silo intermediário.

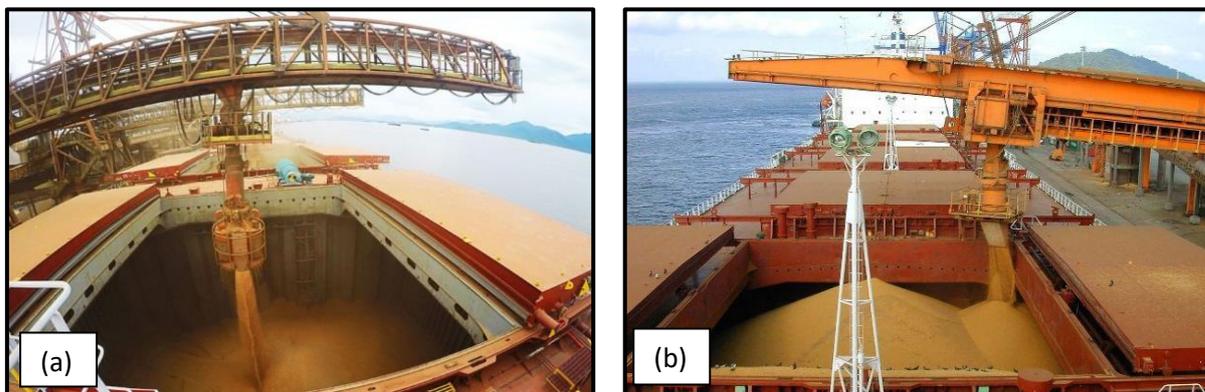


Figura 3.12 - Sistema convencional: a) embarque de soja, b) modelagem a ser integrada ao sistema pneumático de transporte. Fonte: Internet, Google Imagem em 30/06/2018.

No caso de transporte para pequenas distâncias, inferior a 300 m, entre armazéns e navios, o sistema de fase densa apresenta resultados satisfatórios, sendo conhecido como “sugadores de grão” na linguagem popular nos portos (figura 3.13) podendo ser invertido o modelo a partir do separador de fluido/sólido para efetuar o embarque, tendo como origem um silo intermediário.



Figura 3.13 - Sistema Sugador de transporte pneumático de sólidos para descarga de navios em fase densa, operando com pressão negativa. Fonte: Internet, Google Imagem em 30/06/2018.

No porto de Santos, no Terminal 12A há um sugador operando desde a década de 80 na descarga de trigo.

3.1.7 Valoração dos Fretes Rodoviários e Ferroviários

O complexo logístico portuário de Santos recebeu nos últimos cinco anos mais de 3 milhões de veículos graneleiros, sendo 2.600.482 de caminhões e 1.646.234 vagões ferroviários em média anual (Tabela 2). Esta demanda de veículos tem elevado os custos com o transporte no entorno do porto devido à saturação do sistema viário, agravando os custos operacionais do transporte rodoferroviário de grãos.

a) Caminhões – Fretes Rodoviários:

Pesquisas de demanda no Porto de Santos demonstraram que nos últimos 5 anos a média de caminhões foi dividida em 62,07 % para (MD) margem direita do canal do porto e 37,93 % para a (ME) margem esquerda (Apêndice C1).

A demanda de caminhões para atender ao granel vegetal representou 61,2% dos caminhões que circularam pelo porto neste período, em ambas as margens, totalizando em média 2.600.448 caminhões por ano (Apêndice C2)

O setor de graneis vegetais, onde a soja em grãos representa em média 46,6% em massa da demanda do granel sólido de origem vegetal, nos últimos 5 anos foi responsável pela movimentação média de 1.987.757 caminhões na MD e média de 612.725 caminhões na ME, totalizando média de 2.600.482 caminhões por ano (Apêndice C2).

Considerando que o sistema foi projetado para atender a 1.000 toneladas por hora, pode-se calcular os seguintes benefícios para mitigar o gargalo logístico, supondo carga média de 35 t por caminhão.

Desse modo, a Redução do Fluxo de Caminhões no Porto, R_{fcp} será:

$$R_{fcp} = (1000 \text{ t/h}) / 35 \text{ t/caminhão} = 28,57 \text{ caminhões por hora} \quad (1)$$

$$R_{fcp} = 28,57 \text{ caminhões/h} \times 24\text{h} \times 30 \text{ dias} = 20.571 \text{ caminhões por mês} \quad (2)$$

O valor do frete (V_{fr}) equivalente à Redução do Fluxo de veículos de 6 eixos (35 toneladas), 75 km e R\$2,10 por eixo é:

$$Vfr = R\$2,10 \times 6 \text{ eixos} \times 75 \text{ km} = R\$945,00 \text{ por viagem} \quad (3)$$

Aplicando o valor do Frete Nacional Mínimo (Vfr) e a quantidade de viagens rodoviárias realizadas no período, resulta na economia referente ao total dos fretes rodoviários (Fr):

$$Fr = 20.571 \times R\$ 945,00 = R\$ 19.439.595,00 \quad (\text{média mensal}) \quad (4)$$

$$Fr = R\$19.439.595,00 \times 12 \text{ meses} = R\$ 233.275.40,00 \quad (\text{média anual}) \quad (5)$$

O valor total dos fretes mitigados é equivalente aos novos fretes que poderão ser incorporados com outros produtos, permitindo a expansão da capacidade portuária.

b) Vagões – Sistema Ferroviário:

Pesquisas de demanda no Porto de Santos demonstram que nos últimos 5 anos a demanda média de vagões foi dividida em 59,25 % para (MD) margem direita do canal do porto de Santos e 40,75 % para a (ME) margem esquerda do porto (Apêndice C1).

A demanda de vagões para atender ao granel vegetal representou 85,02 % dos vagões que circularam pelo porto neste período, em ambas as margens, totalizando em média 329.247 vagões por ano (Apêndice C3), gerando vários conflitos devido ao cruzamento rodoferroviário no mesmo nível.

O setor de graneis vegetais, onde a soja representa em média 46,6 % da demanda de graneis vegetais (Apêndice C5), nos últimos 5 anos foi responsável pela movimentação média de 229.753 vagões na MD e média de 157.276 vagões na ME, totalizando média de 387.068 vagões por ano.

De forma semelhante, no caso de 1.000 toneladas por hora, foi possível quantificar os custos referentes ao transporte por vagões de 60 toneladas de capacidade de carga.

A Redução do Fluxo de Vagões no Porto (R_{fvp}) é de:

$$R_{fvp} = (1000 \text{ t/h}) / (60 \text{ t/vagão}) = 16,66 \text{ vagões por hora} \quad (6)$$

$$R_{fvp} = 16,66 \text{ vagões/h} \times 24 \text{ h} \times 30 \text{ dias} = 12.000 \text{ vagões por mês} \quad (7)$$

Aplicando-se o frete médio de R\$756,00 por viagem tem-se a seguinte redução de custos referentes aos fretes ferroviários (Ff) devido a redução do percurso.

$$Ff = (12.000 \text{ vagões/mês}) \times R\$756 = R\$9.072.000,00 \text{ (média mensal)} \quad (8)$$

$$Ff = R\$9.072.000,00 \times 12 = R\$108.864.000,00 \quad \text{(média anual)} \quad (9)$$

3.1.8 Redução da Emissão de Poluentes pelos Caminhões

Com base no Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários elaborado pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA 2011) e os fatores de emissão de poluentes para motores diesel (Anexo F), foi determinado a quantidade de poluentes para caminhões no trajeto da serra do mar, considerando ida e volta de 150 km, 20.571 viagens mensais, 3,17 km/l e 35 t/caminhão(Tabela 3.2)

Tabela 3.2 Emissão de Poluentes por Caminhão Diesel. Fonte: Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores rodoviários - Ministério do Meio Ambiente (2011).

POLUENTES	IDENTIFICAÇÃO DOS PRODUTOS	EMISSÃO g/km	PERCURSO Km	EMISSÃO Kg
CO	Monóxido de Carbono	1,06	3.085.650,00	3.270,79
NOx	Óxidos Nitrosos	0,20	3.085.650,00	617,13
NMHC	Hidrocarbonetos Não Metano	2,30	3.085.650,00	7.097,00
MP	Material Particulado	0,02	3.085.650,00	70,97
TOTAL	MENSAL			11.056
	ANUAL			132.671

4. CONCLUSÕES E SUGESTÕES

4.1 Conclusões

O trabalho permitiu as seguintes conclusões:

- a) 22 dutos de aço com diâmetro de 254 mm são necessários para promover o deslocamento de 1000 t/h de soja em fase diluída, capacidade suficiente para competir com o sistema rodoferroviário;
- b) Se for duplicada a capacidade do sistema projetado, com dois troncos de dutos, resulta na capacidade operacional de 48.000 t/dia, que deixarão de trafegar pela rodovia Anchieta ou pelo sistema ferroviário;
- c) Esta demanda de transporte pneumático para o Porto de Santos é equivalente a 20.571 viagens de caminhões ou 12.000 vagões ferroviários mensais que deixarão de descer a Serra do Mar pelo sistema Anchieta/Imigrantes, permitindo a expansão do fluxo viário com outras cargas;
- d) A capacidade do corredor logístico pode ser expandida gradualmente inserindo novo conjunto de dutos e bombas, visto que cada tronco de 22 tubos apresenta seção transversal de 6 tubos x 4 tubos de 10 polegadas, resultando uma base com seção de 60 polegadas, sendo possível no leito ferroviário a instalação de 3 troncos de dutos sobrepostos, totalizando 6 vezes o volume dimensionado na pesquisa;
- e) Esta nova opção viária para transpor a Serra do Mar tem ainda como vantagem a baixa emissão de carbono e baixo risco ambiental, resultando em benefícios diretos ao complexo portuário e seu entorno urbano;
- f) Considerando 20.571 viagens de caminhão mensais, percurso de 75 km, aplicado na ida e volta, foi estimado a mitigação anual de 132,67 toneladas de poluentes no percurso (Tabela 3.2);

- g) Os benefícios logísticos e econômicos aos transportadores rodoviários e ferroviários também atingem aos objetivos específicos do trabalho pois poderão ampliar a quantidade de viagens mensais entre o Porto e Regiões Produtoras do centro oeste e sul do país, e conseqüente redução dos fretes rodoferroviários;
- h) A escassez de áreas livres dentro da poligonal do Porto Organizado de Santos permite ao modal dutoviário o aproveitamento de áreas distantes e o crescimento da exportação de soja em nossa região, mitigando também os impactos no sistema viário urbano;
- i) Os resultados ganham mais importância quando projetado o tempo médio de 17,8 minutos de deslocamento da soja até o Porto. Se comparado com o tempo de um caminhão para descida da serra, que é superior a média de 1 hora, e os trens graneleiros, com uma logística diferenciada, levam em média 8 horas pelo ramal de simples aderência, sem considerar as manobras ferroviárias e sem considerar as filas para descarga nos terminais portuários;
- j) Na Margem direita, quando projetada a economia de escala resulta capacidade de absorver mais de 13.000 viagens mensais, equivalente a economia de mais de R\$15 milhões em fretes rodoviários;
- k) Na Margem Esquerda, quando projetada a economia de escala resulta capacidade de absorver mais de 7.000 viagens mensais, equivalente a economia de mais de R\$8 milhões em fretes rodoviários;
- l) Otimizar a matriz de transporte no principal porto da América Latina agrega benefícios que podem ser replicados para todos os portos nacionais e internacionais que apresentam escassez de área para expansão e conflitos entre o sistema viário urbano e portuário.

4.2 Trabalhos Futuros

Visando a continuidade das pesquisas, sugere-se:

- a) Avaliar o escoamento pneumático combinado entre fase densa e diluída e aplicação em ambas as pontas do corredor logístico, origem e destino, Centro de Silagem e Porto respectivamente, além da possibilidade da aplicação de correias transportadoras no caso de não ser atingida a eficiência e competitividade operacional necessária para o embarque diretamente aos porões dos navios;
- b) Simular o transporte em fase diluída e fase densa para percurso de 16 km em protótipo réplica de curvas e declividade na transposição da serra do mar, pelo traçado do funicular, para constatação da friabilidade da soja pelo período de 17,8 minutos, tempo de escoamento da soja entre origem e destino. Estudar a influência da proporção ar/sólido e rugosidade das tubulações.
- c) Desenvolver estudo de carga elétrica para geração de energia distribuída usando energias renováveis, em destaque para a energia;
- d) Aplicar a sensorização e inteligência artificial para automação do protótipo, principalmente para o controle de temperatura, umidade, perda de carga, oleosidade da tubulação, energia estática e formação de poeira inflamável.
- e) Obter a Certificação da modelagem física e numérica do protótipo transportador pneumático de soja perante entidades de reconhecimento internacional como *Bureau Veritas*, *American Bureau of Shipping*, *Det Norsk Veritas*, *SGS* dentre outras.

Neste cenário de diversidade de pesquisas a serem realizadas, as resultantes do projeto básico para transporte dutoviário pneumático de soja, através do corredor logístico proposto, se destaca como relevante opção para atender ao crescimento das exportações pelo porto de Santos, ganhando assim um impulso adicional para continuidade das pesquisas.

REFERÊNCIAS

1. **BOWERSOX DJ, CLOSS DJ, COOPER MB**; Administracion de La Logistica de La Cadena de Suministro, **2007**.
2. **CAIXETA-FILHO, J.V. A Logística do escoamento da Safra Brasileira.**
3. **CEPEA/ESALQ-USP**, www.cepea.esalq.usp.br/especialagro/, 2010.
4. **CODESP – Companhia Docas do Estado de São Paulo**, mensário estatístico do Porto de Santos, 2018.
5. **CONAB – CIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO**, www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos (OUT/2018).
6. **CRISPIM, DO NASCIMENTO, M.**, Mitigação De Impactos Ambientais com o Transporte Pneumático de Soja em Fase Diluída: Quantificação da Friabilidade e Perda de Carga, Santos, 2014.
7. **EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Análise da área de produção da Soja no Brasil**, disponível em: <https://www.embrapa.br/soja/cultivos/soja1/dados-economicos>, setembro, 2018.
8. **EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (2016)** EspecialAgroCepea_7.doc>.
9. **EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (2020).**
10. **FIGUEIREDO, A.E.P.**; Tese de doutorado, 2015 Automação Portuária e Segurança do Trabalho.
11. **GOMIDE, R.**; Operações unitárias. Operações com sistemas granulares. São Paulo, ed. do autor. 1983, v. 1.
12. **KONGSKILDE, Empresa Fabricante de Sugadores Sopradores**, www.kongskilde.com, Catálogo Digital, internet 06/2018.
13. **MARCUS R. D., LEUNG L. S., KLINZING G. E., RIZK F.**; Pneumatic conveying of solid. London: Chapman and Hall. 1990, 455 p.
14. **MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE**, Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores rodoviários, MMA – 2011.
15. **MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES, PORTOS E AVIAÇÃO CIVIL**, Tabela Nacional de Frete Mínimo, MTPA, 2017.

16. **MORAES, M.S.**; Convecção forçada de partículas poliméricas em fase diluída: Curvas de pressão e distribuição de partículas, Tese (Doutorado), Unicamp, Campinas, Março de 2012.
17. **PERRY R. H., GREEN D. W., MALONEY J. O.**; Perry's Chemical Engineers' Handbook. 7 ed., New York, McGraw-Hill. 1997, p. 21-22.
18. **RHODES M.**; Transporte Pneumático de Partículas. UFRN, Rio Grande do Norte, 2004. www.ufrnet.ufm.br .
19. **SANTOS, SABRINA MARTINS**, Projeto e montagem de unidade piloto de transporte pneumático em fase diluída para estudo da relação entre a perda de carga e a distribuição de partículas granulares na seção transversal de dutos industriais - Campinas, SP, 2009.
20. **STOESS Jr, H. A.**; **Pneumatic Conveying**. New York: John Wiley & Son – Interscience, 1970, 217 p.
21. **TAVARES, A. VANDERLEI**, Transporte Pneumático de Soja em Fase Diluída: Obtenção da Perda de Carga e Distribuição de Partículas na Seção Transversal da Tubulação Horizontal, Santos, SP, Unisanta 2014.

APÊNDICE A1 – DEMANDA DE CAMINHÕES GRANELEIROS NO PORTO

TOTAL GERAL – 2014					
MÊS	MARGEM DIREITA	MARGEM ESQUERDA	TOTAL	GRANEL VEGETAL	
JAN	134.198	81.776	215.974	19.491	9,02%
FEV	147.402	96.869	244.271	53.151	21,76%
MAR	166.662	91.607	258.269	71.136	27,54%
ABRIL	152.868	91.145	244.013	48.193	19,75%
MAIO	152.013	94.177	246.190	39.213	15,93%
JUN	145.124	85.999	231.123	41.650	18,02%
JUL	172.885	89.565	262.450	52.154	19,87%
AGO	181.731	81.371	263.102	48.098	18,28%
SET	177.599	71.107	248.706	32.464	13,05%
OUT	190.555	68.937	259.492	40.575	15,64%
NOV	157.957	67.230	225.187	30.894	13,72%
DEZ	157.569	62.100	219.669	26.545	12,08%
Total	1.936.563	981.883	2.918.446	503.564	17,25
Média Mês	161.380	81.824	243.204	41.964	
%	66,35 %	33,65 %			

APÊNDICE A2 – DEMANDA DE CAMINHÕES GRANELEIROS NO PORTO

TOTAL GERAL – 2015					
MÊS	MARGEM DIREITA	MARGEM ESQUERDA	TOTAL	GRANEL VEGETAL	
JAN	142.071	59.588	201.659	19.803	9,82%
FEV	133.030	69.386	202.416	30.382	15,01%
MAR	179.427	80.714	260.141	61.508	23,64%
ABR	138.506	79.226	217.732	51.537	23,67%
MAI	160.881	73.281	234.162	54.844	23,42%
JUN	132.708	70.701	203.409	35.188	17,30%
JUL	168.603	77.747	246.350	52.014	21,11%
AGO	177.671	83.395	261.066	69.589	26,66%
SET	157.425	85.056	242.481	63.263	26,09%
OUT	172.574	87.690	260.264	67.272	25,85%
NOV	136.158	80.599	216.757	56.363	26,00%
DEZ	125.314	80.657	205.971	49.869	24,21%
Total	1.824.368	928.040	2.752.408	611.632	
Média Mês	152.031	243.204	229.369	50.969	22,22%
%	66,28%	33,72 %			

APÊNDICE A3 – DEMANDA DE CAMINHÕES GRANELEIROS NO PORTO

TOTAL GERAL – 2016					
MÊS	MARGEM DIREITA	MARGEM ESQUERDA	TOTAL	GRANEL VEGETAL	
JAN	109.600	66.978	176.578	24.008	13,60%
FEV	123.961	79.216	203.177	53.241	26,20%
MAR	145.056	96.042	241.098	73.627	30,54%
ABR	127.895	84.469	212.364	62.419	29,39%
MAI	124.814	84.699	209.513	51.613	24,63%
JUN	126.661	80.990	207.651	45.234	21,78%
JUL	130.551	84.939	215.490	44.156	20,49%
AGO	150.471	86.727	237.198	48.650	20,51%
SET	130.564	79.261	209.825	39.992	19,06%
OUT	115.628	79.695	195.323	25.431	13,02%
NOV	103.662	76.969	180.631	17.004	9,41%
DEZ	97.582	77.386	174.968	13.599	7,77%
Total	1.486.445	977.371	2.463.816	498.974	20,25%
Média Mês	123.870	81.448	205.318	41.481	
%	60,33 %	39,67 %			

APÊNDICE A4 – DEMANDA DE CAMINHÕES GRANELEIROS NO PORTO

TOTAL GERAL - 2017					
MÊS	MARGEM DIREITA	MARGEM ESQUERDA	TOTAL	GRANEL VEGETAL	
JAN	95.999	72.306	168.305	13.614	8,09%
FEV	114.382	80.344	194.726	50.051	25,70%
MAR	142.335	84.791	227.126	64.174	28,25%
ABR	132.562	70.338	202.900	53.606	26,42%
MAI	154.988	81.228	236.216	58.568	24,79%
JUN	145.614	75.277	220.891	51.627	23,38%
JUL	143.485	76.664	220.149	53.875	24,47%
AGO	164.665	80.577	245.242	61.839	25,22%
SET	153.893	75.043	228.936	52.195	22,80%
OUT	154.795	72.446	227.241	44.426	19,55%
NOV	137.162	67.772	204.934	30.272	14,77%
DEZ	118.307	63.193	181.500	15.079	8,31%
Total	1.658.187	899.979	2.558.166	549.326	21,47%
Média Mês	138.182	74.994	213.176	45.777	
%	64,82 %	35,18 %			

APÊNDICE A5 – DEMANDA DE CAMINHÕES GRANELEIROS NO PORTO

TOTAL GERAL – 2018					
MÊS	MARGEM DIREITA	MARGEM ESQUERDA	TOTAL	GRANEL VEGETAL	
JAN	126.658	66.480	193.138	14.816	7,70%
FEV	119.073	66.621	185.694	35.822	19,29%
MAR	153.997	81.160	235.157	68.129	28,97%
ABR	148.801	71.127	219.928	50.960	23,17%
MAI	102.382	53.509	155.891	37.702	24,18%
JUN	167.681	84.041	251.722	46.298	18,39%
JUL	159.440	69.177	228.617	48.668	21,29%
AGO	158.173	79.281	237.454	41.468	17,46%
SET	144.413	68.455	212.868	37.713	17,72%
OUT	138.198	68.192	206.390	19.765	9,58%
NOV	121.302	60.171	181.473	18.357	10,12%
DEZ	105.600	54.215	159.815	17.287	10,82%
Total	1.645.718	822.429	2.468.147	436.985	17,70%
Média Mês	137.143	68.536	205.629	36.415	
%	66,68 %	33,32 %			

APÊNDICE B1 – DEMANDA DE VAGÕES GRANELEIROS NO PORTO

TOTAL GERAL – 2014					
MÊS	MARGEM DIREITA	MARGEM ESQUERDA	TOTAL	GRANEL VEGETAL	
JAN	12.817	5.770	18.587	13.498	72,62%
FEV	14.494	11.250	25.744	20.968	81,45%
MAR	16.941	16.497	33.438	28.118	84,09%
ABR	17.076	15.301	32.377	26.859	82,96%
MAI	17.181	15.657	32.838	27.431	83,53%
JUN	16.677	15.656	32.333	27.165	84,02%
JUL	19.444	14.654	34.098	28.824	84,53%
AGO	19.030	14.922	33.952	29.333	86,40%
SET	17.889	15.486	33.375	28.599	85,69%
OUT	18.542	15.712	34.254	29.745	86,84%
NOV	17.813	12.607	30.420	26.165	86,01%
DEZ	18.030	11.987	30.017	25.928	86,38%
Total	205.934	137.771	371.433	312.633	84,17%
Média Mês	17.161	11.481	30.953	26.053	
%	55,44 %	44,56 %			

APÊNDICE B2 – DEMANDA DE VAGÕES GRANELEIROS NO PORTO

TOTAL GERAL – 2015					
MÊS	MARGEM DIREITA	MARGEM ESQUERDA	TOTAL	GRANEL VEGETAL	
JAN	18.262	5.936	24.198	20.003	82,66%
FEV	17.271	9.626	26.897	23.014	85,56%
MAR	17.507	12.235	29.742	24.932	83,83%
ABR	17.161	14.083	31.244	26.404	84,51%
MAI	18.872	12.823	31.695	26.586	83,88%
JUN	18.651	13.056	31.707	26.412	83,30%
JUL	18.882	16.628	35.510	30.940	87,13%
AGO	20.406	16.098	36.504	31.278	85,68%
SET	20.436	15.416	35.852	31.576	88,07%
OUT	22.529	15.263	37.854	33.347	88,09%
NOV	21.819	14.595	35.862	32.215	89,83%
DEZ	21.147	13.554	34.701	30.292	87,29%
Total	232.943	159.313	391.766	336.999	86,02%
Média Mês	19.412	13.276	32.647	28.083	
%	59,46 %	40,54 %			

APÊNDICE B3 – DEMANDA DE VAGÕES GRANELEIROS NO PORTO

TOTAL GERAL – 2016					
MÊS	MARGEM DIREITA	MARGEM ESQUERDA	TOTAL	GRANEL VEGETAL	
JAN	17.368	9.605	26.973	22.701	84,16%
FEV	16.967	12.761	29.728	25.237	84,89%
MAR	17.643	16.328	33.971	29.337	86,36%
ABR	17.545	16.049	33.594	28.824	85,80%
MAI	20.234	14.780	35.014	30.948	88,39%
JUN	20.655	9.692	30.347	26.077	85,93%
JUL	18.946	15.724	34.670	29.131	84,02%
AGO	20.052	16.324	36.376	31.177	85,71%
SET	21.123	14.621	35.744	30.576	85,54%
OUT	20.002	9.829	29.831	24.533	82,24%
NOV	18.008	6.295	24.303	19.402	79,83%
DEZ	16.341	7.183	23.524	18.743	79,68%
Total	224.884	149.191	374.075	316.686	84,66%
Média Mês	18.740	12.433	31.173	26.391	
%	60,12 %	39,82 %			

APÊNDICE B4 – DEMANDA DE VAGÕES GRANELEIROS NO PORTO

TOTAL GERAL – 2017					
MÊS	MARGEM DIREITA	MARGEM ESQUERDA	TOTAL	GRANEL VEGETAL	
JAN	13.875	6.946	20.821	16.336	78,46%
FEV	14.696	12.713	27.409	24.145	88,09%
MAR	16.268	14.343	30.611	26.055	85,12%
ABR	16.041	13.412	29.453	25.384	86,18%
MAI	24.475	13.128	37.603	32.818	87,27%
JUN	19.340	13.156	32.496	28.206	86,80%
JUL	16.372	15.704	32.076	27.452	85,58%
AGO	18.700	13.894	32.594	28.343	86,96%
SET	17.812	15.786	33.598	29.375	87,43%
OUT	19.457	15.015	34.472	29.807	86,47%
NOV	19.267	13.403	32.670	28.413	86,97%
DEZ	18.175	11.967	30.142	26.190	86,89%
Total	214.478	159.467	373.945	322.524	86,25%
Média Mês	17.873	13.289	31.162	26.877	
%	57,36 %	42,64 %			

APÊNDICE B5 – DEMANDA DE VAGÕES GRANELEIROS NO PORTO

TOTAL GERAL – 2018					
MÊS	MARGEM DIREITA	MARGEM ESQUERDA	TOTAL	GRANEL VEGETAL	
JAN	16.824	6.201	23.025	18.424	72,62%
FEV	16.041	11.035	27.076	22.923	81,45%
MAR	22.632	13.841	36.473	31.448	84,09%
ABR	21.121	12.845	33.966	29.386	82,96%
MAI	22.567	12.266	34.833	30.342	83,53%
JUN	22.877	12.069	34.946	29.980	84,02%
JUL	25.233	14.348	39.581	32.928	84,53%
AGO	25.650	14.971	40.621	34.390	86,40%
SET	25.808	15.261	41.069	34.767	85,69%
OUT	21.778	15.098	36.876	30.640	86,84%
NOV	24.855	14.211	39.066	32.678	86,01%
DEZ	25.539	11.048	36.587	29.496	86,38%
Total	270.925	153.194	424.119	357.402	84,27%
Média Mês	22.577	12.766	35.343	29.784	
%	63,88 %	36,12 %			

**APÊNDICE C1 – SÍNTESE DE MOVIMENTAÇÃO DE VEÍCULOS
NO PORTO DE SANTOS**

ANO	TOTAL - CAMINHÃO			TOTAL - VAGÃO			TOTAL
	MD	ME	TOTAL	MD	ME	TOTAL	PORTO
2014	66,35%	33,65%	2.918.446	55,44%	44,56%	371.433	3.289.879
2015	66,28%	33,72%	2.752.408	59,46%	40,54%	391.766	3.144.174
2016	60,33%	39,67%	2.463.816	60,12%	39,82%	374.075	2.837.891
2017	64,82%	35,18%	2.558.166	57,36%	42,64%	373.945	2.932.111
2018	66,68%	33,32%	2.468.147	63,88%	36,12%	424.119	2.892.266
TOTAL			13.160.893			1.935.338	15.096.231
MÉDIA	64,89%	35,11%	2.632.197	59,25%	40,75%	387.068	3.019.246
MENSAL			219.349,75			32.255,67	251.603,85
DIÁRIA			7.311,66			1.075,19	8.386,80

**APÊNDICE C2 – DEMANDA DE CAMINHÕES TRANSPORTADORES DE
GRANEL VEGETAL**

GRANEL VEGETAL – CAMINHÃO						
ANO	MD		ME		TOTAL	%
	Participação	Total	Participação	Total	Geral	
2014	74	373.325	26	130.239	503.564	17,25%
2015	76	466.746	24	144.886	611.632	22,22%
2016	78	391.642	22	107.332	498.974	20,25%
2017	76	416.969	24	132.358	549.327	21,47%
2018	78	339.075	22	97.910	436.985	17,70%
Total		1.987.757	100 %	612.725	2.600.482	
Média	76 %	397.551	24 %	122.545	520.096	85,02%

**APÊNDICE C3 – DEMANDA DE VAGÕES TRANSPORTADORES DE
GRANEL VEGETAL**

GRANEL VEGETAL – VAGÃO						
ANO	MD		ME		TOTAL	Participação TOTAL %
	Participação %	Total	Participação %	Total	Geral	
2014	56	174.862	44	137.771	312.633	84,17%
2015	60	202.680	40	134.309	336.989	86,02%
2016	62	197.385	38	119.301	316.686	84,38%
2017	58	186.572	42	135.952	322.524	86,25%
2018	66	235.263	34	122.139	357.402	84,27%
Total		1.987.756		649.472	1.646.234	
Média	60 %	397.551	40 %	129.894	329.247	85,02%

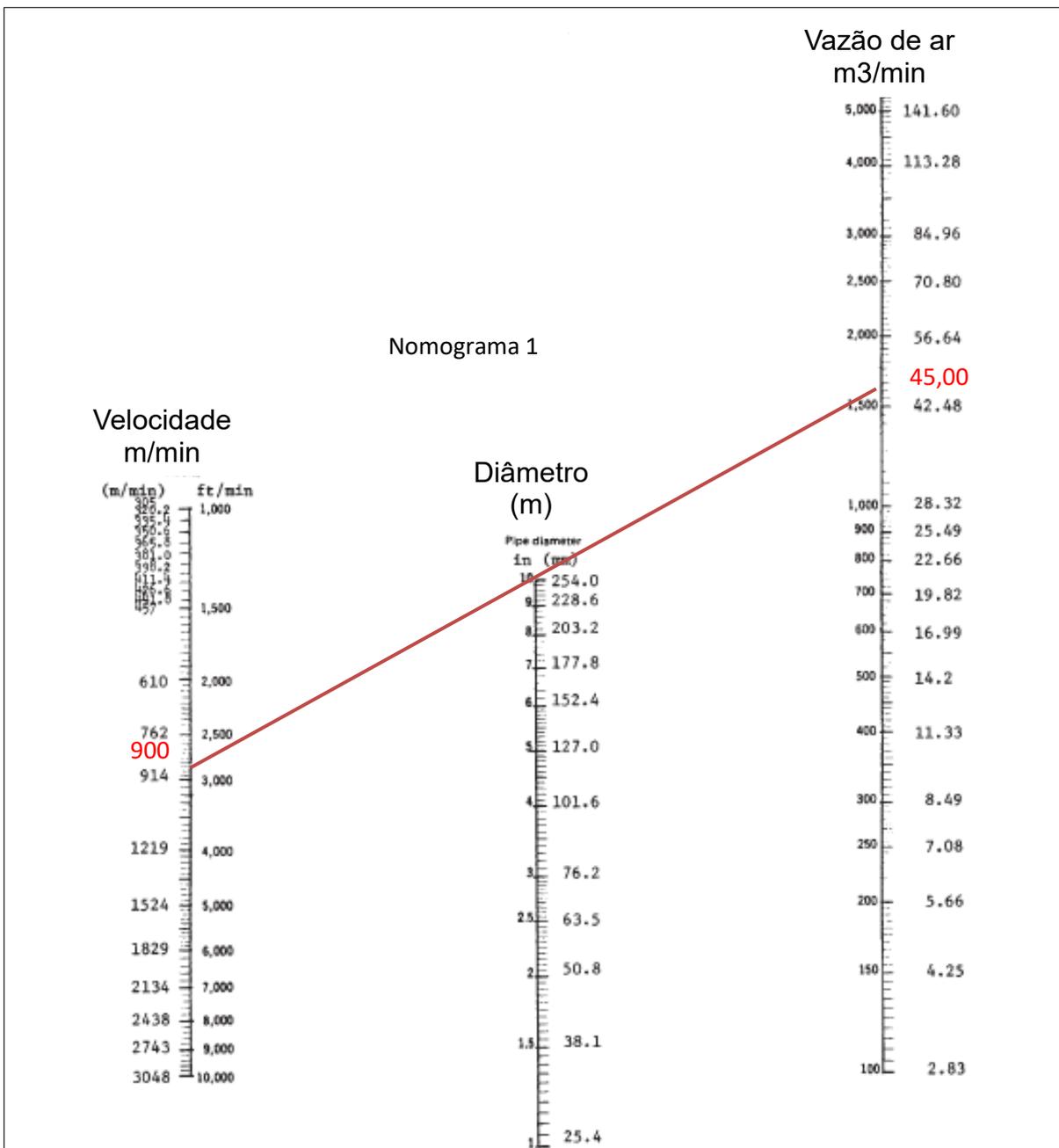
APÊNDICE C4 – DEMANDA DE VEÍCULOS GRANELEIROS NO PORTO DE SANTOS

VEÍCULOS GRANELEIROS NO PORTO DE SANTOS - ANUAL					
ANO	CAMINHÃO		VAGÃO		TOTAL
	TOTAL	%	TOTAL	%	
2014	503.564	61,7	312.633	38,3	816.197
2015	611.632	64,5	336.989	35,5	948.621
2016	498.974	61,2	316.686	38,8	815.660
2017	549.327	63,0	322.524	37,0	871.851
2018	436.985	55,0	357.402	45,0	794.387
TOTAL	2.600.482	61,2	1.646.234	38,8	4.246.716

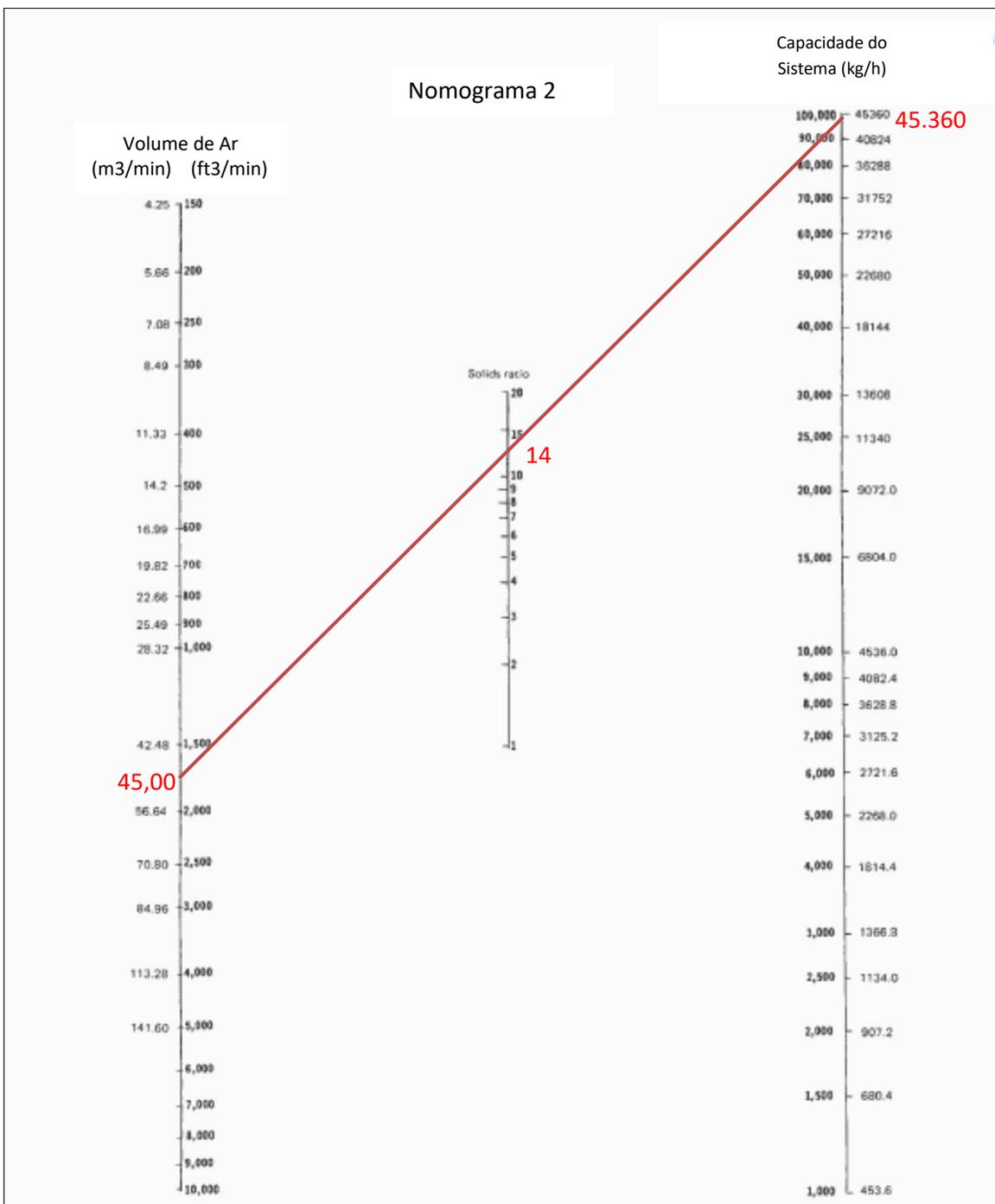
APÊNDICE C5 – EXPORTAÇÃO DE GRÃOS PELO PORTO DE SANTOS

EXPORTAÇÃO DE SOJA PELO PORTO DE SANTOS						
Produtos	2014	2015	2016	2017	2018	%
Soja em Grãos	12.441.649	13.024.686	14.502.578	16.473.060	20.583.035	46,6
Soja em Farelo	3.789.328	4.404.820	4.377.815	4.994.870	5.911.258	14,2
Milho	8.864.029	15.580.580	7.883.879	14.233.899	12.608.124	35,8
Trigo	1.430.232	643.315	1.062.182	1.087.814	1.313.945	3,4
Total	26.525.238	33.653.401	27.826.454	36.789.643	40.416.362	100

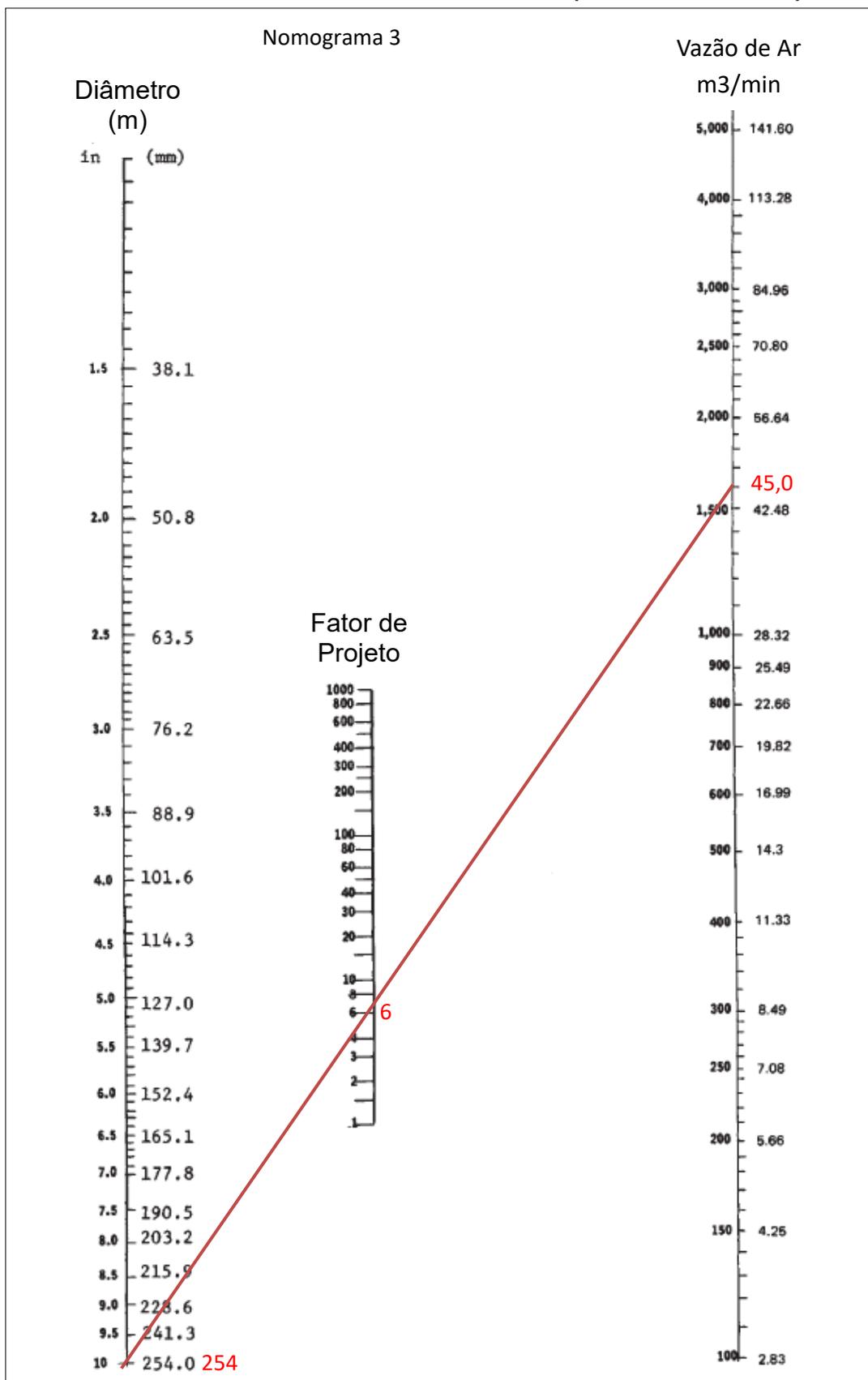
APÊNDICE D1 – VAZÃO DE ESCOAMENTO DE SÓLIDOS



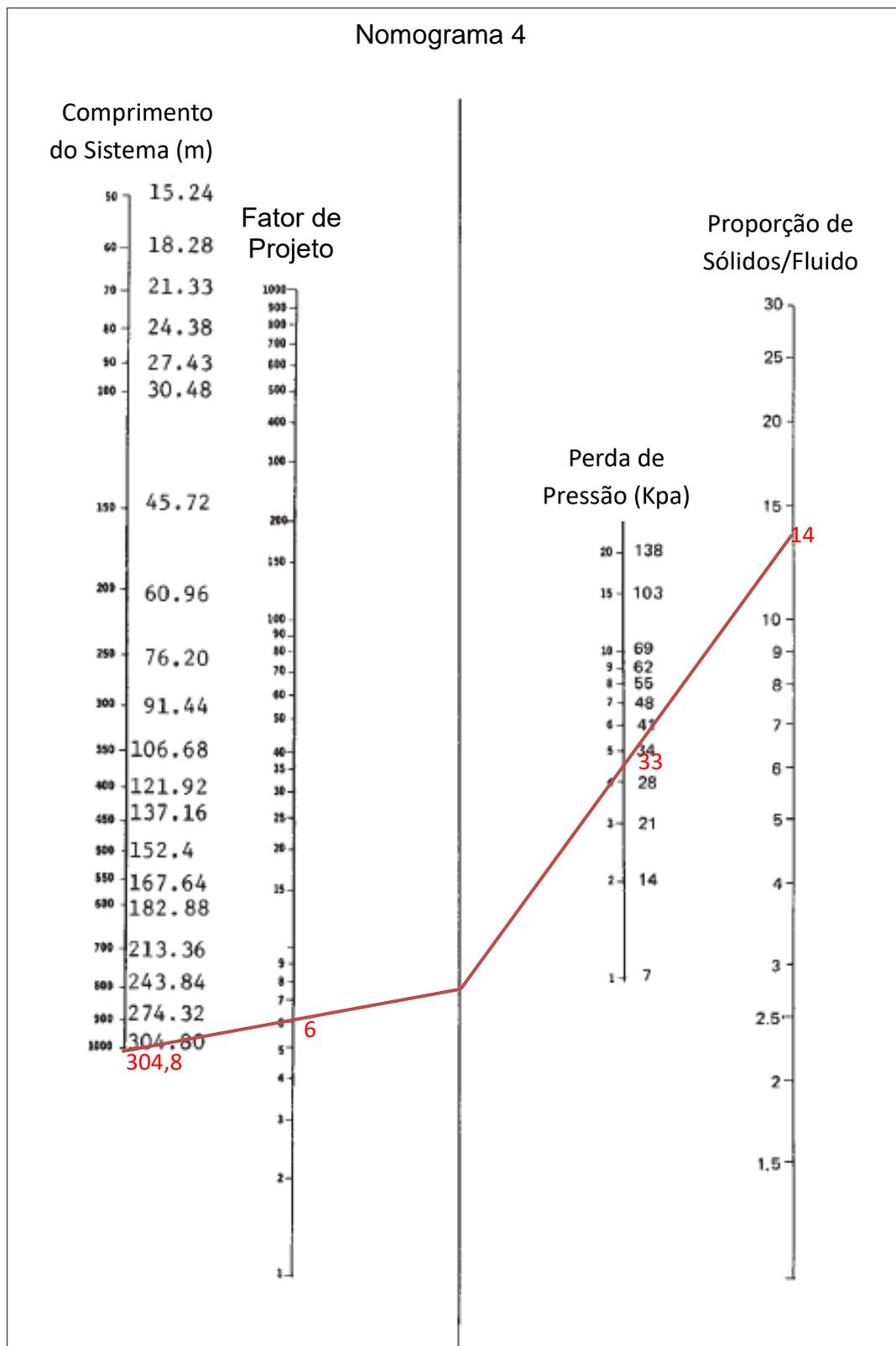
APÊNDICE D2 – CAPACIDADE DO SISTEMA E RELAÇÃO SÓLIDO/AR



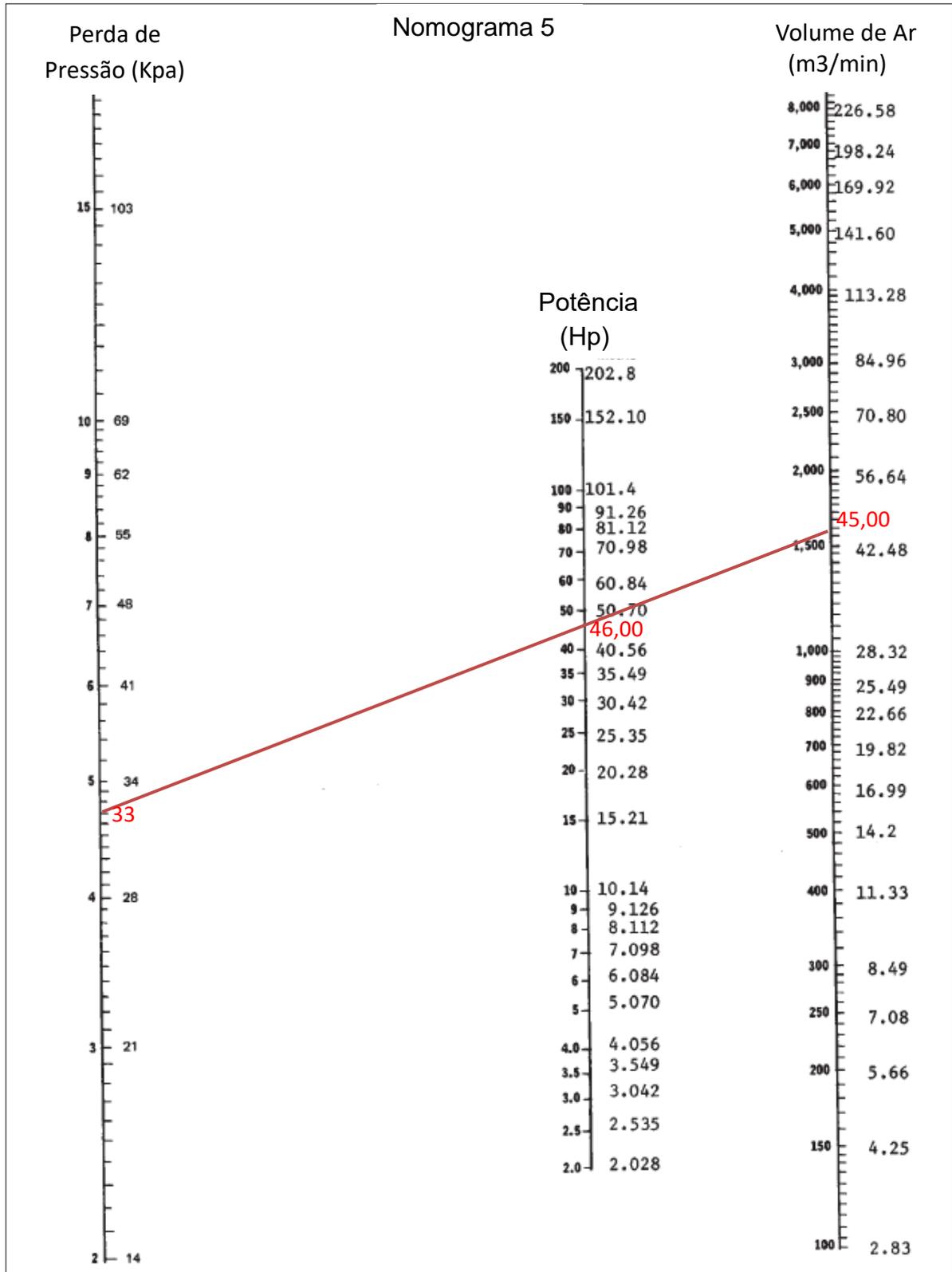
APÊNDICE D3 – FATOR DE PROJETO (DESIGN FACTOR)



APÊNDICE D4 – PERDA DE CARGA (System Pressure Loss)



APÊNDICE D5 – VOLUME DE AR E POTÊNCIA (AIR VOLUME AND HORSEPOWER)



ANEXO A – GRÁFICO MOVIMENTAÇÃO FERROVIÁRIA 2017/2018

Produto / Cenário	2008	2014	2019	2024
Granéis Sólidos				
Açúcar a Granel	9.986.241	13.360.000	16.090.000	20.040.000
Soja	10.295.199	9.660.000	11.580.000	13.930.000
Milho	2.318.581	1.490.000	1.640.000	1.850.000
Trigo	1.324.754	2.210.000	2.480.000	2.770.000
Adubo	3.279.630	4.530.000	5.780.000	7.380.000
Enxofre	1.855.523	2.700.000	3.440.000	4.400.000
Sal	774.267	950.000	1.020.000	1.100.000
Total Granéis Sólidos	29.834.195	34.900.000	42.030.000	51.470.000
Granéis Líquidos				
Sucos Cítricos	1.749.119	2.165.000	2.395.000	2.715.000
Derivados de Petróleo	4.838.723	6.200.000	7.980.000	10.360.000
GLP	572.840	720.000	910.000	1.150.000
Álcool	2.921.202	2.730.000	3.490.000	5.050.000
Outros Granéis Líquidos	3.434.455	5.340.000	6.520.000	8.040.000
Total Granéis Líquidos	13.516.339	17.155.000	21.295.000	27.315.000
Carga Geral				
Contêineres	39.582.825	57.900.000	80.700.000	109.800.000
Açúcar em Sacos	1.211.855	1.260.000	1.350.000	1.680.000
Celulose	813.298	1.170.000	1.470.000	1.890.000
Veículos	635.061	760.000	910.000	1.110.000
Outros Produtos	972.740	2.040.000	2.470.000	3.030.000
Total Carga Geral	43.215.779	63.130.000	86.900.000	117.510.000
DEMANDA TOTAL	86.556.313	115.185.000	150.225.000	196.295.000

Fonte de dados: CODESP e Louis Berger/Internave

ANEXO B -- TABELA ANTT DE FRETE CARRETEIRO MÍNIMO - AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES TERRESTRES

Tabela de Preços Mínimos por KM e por Eixo - Carga Granel		
De KM	Até KM	Custo por Km/Eixo
1	100	R\$ 2,10
101	200	R\$ 1,29
201	300	R\$ 1,13
301	400	R\$ 1,06
401	500	R\$ 1,02
501	600	R\$ 1,00
601	700	R\$ 0,98
701	800	R\$ 0,97
801	900	R\$ 0,96
901	1.000	R\$ 0,95
1.001	1.100	R\$ 0,94
1.101	1.200	R\$ 0,94
1.201	1.300	R\$ 0,94
1.301	1.400	R\$ 0,93
1.401	1.500	R\$ 0,93
1.501	1.600	R\$ 0,93
1.601	1.700	R\$ 0,92
1.701	1.800	R\$ 0,92
1.801	1.900	R\$ 0,92



Este documento pode ser verificado no endereço eletrônico
<http://www.in.gov.br/autenticidade.html>, pelo código 05152019011800022

**ANEXO C – FATORES DE EMISSÃO DE POLUENTES PARA MOTORES DIESEL
EM GRAMAS DE POLUENTES POR KM**

Categoria	Fase do PROCONVE	CO	NO _x	NMHC	MP (*)
Comerciais leves	Pré-Proconve, P1 e P2	0,77	0,28	4,45	0,274
	P3	0,69	0,23	2,81	0,136
	P4	0,38	0,13	2,74	0,053
	P5	0,35	0,07	1,98	0,033
	P7	0,37	0,07	0,80	0,008
Caminhões leves	Pré-Proconve, P1 e P2	0,92	0,34	5,31	0,328
	P3	0,83	0,28	3,36	0,163
	P4	0,45	0,15	3,28	0,064
	P5	0,42	0,08	2,37	0,040
	P7	0,44	0,09	0,96	0,010
Caminhões médios	Pré-Proconve, P1 e P2	1,26	0,46	7,28	0,449
	P3	1,14	0,38	4,60	0,223
	P4	0,62	0,21	4,49	0,087
	P5	0,58	0,11	3,25	0,054
	P7	0,60	0,12	1,31	0,013
Caminhões pesados	Pré-Proconve, P1 e P2	2,21	0,81	12,73	0,785
	P3	1,99	0,66	8,04	0,391
	P4	1,08	0,37	7,85	0,153
	P5	1,01	0,19	5,68	0,095
	P7	1,06	0,20	2,30	0,023
Ônibus urbanos	Pré-Proconve, P1 e P2	3,06	1,12	17,57	1,084
	P3	2,75	0,92	11,10	0,539
	P4	1,50	0,51	10,84	0,211
	P5	1,39	0,27	7,84	0,131
	P7	1,46	0,28	3,17	0,032
Ônibus rodoviários	Pré-Proconve, P1 e P2	2,32	0,85	13,34	0,823
	P3	2,08	0,69	8,43	0,409
	P4	1,14	0,39	8,23	0,160
	P5	1,06	0,20	5,95	0,099
	P7	1,11	0,21	2,40	0,024

(*) Valor válido para o teor de enxofre no diesel nos testes de homologação.