Anais do Congresso Brasileiro de Iniciação Científica
(https://periodicos.unisanta.br/COB)

ISSN 2317-1316

VARIABILIDADE DA FROTA DE VAGÕES E TEMPO DE CICLO NA DESCARGA FERROVIÁRIA DE GRANÉIS SÓLIDOS: ESTUDO DE CASO NO PORTO DE SANTOS

RAILCAR FLEET VARIABILITY AND CYCLE TIME IN RAIL DISCHARGE OF BULK SOLIDS: A CASE STUDY AT THE PORT OF SANTOS

Melannie Sena de Souza, Milena Oliveira Marques Xavier, Carlos Alberto Amaral Moino

Universidade Santa Cecília, Faculdade de Engenharia, Curso de Engenharia de Produção
E-mail para contato: ms166708@alunos.unisanta.br; mx215217@alunos.unisanta.br; moino@unisanta.br

RESUMO – A descarga ferroviária de granéis sólidos depende da rápida seleção das máquinas de abertura dos vagões, mas a diversidade da frota torna essa escolha reativa. Este estudo de caso, em uma moega do Porto de Santos, analisou a variabilidade da frota e o tempo de ciclo de descarga, com apoio de Lean Manufacturing e Systematic Layout Planning, por meio de visita técnica, análise do cadastro de vagões e cronoanálise de composições. Os resultados indicaram que a série do vagão determina o mecanismo de abertura e que a variação dos tempos de ciclo evidencia oportunidades de melhoria. Propõe-se um visor para antecipar a seleção das máquinas por posição dos vagões, reduzindo movimentações reativas e aumentando a previsibilidade da operação.

Palavras-chave: Variabilidade de vagões; Tempo de ciclo; Descarga ferroviária; *Lean Manufacturing*; Logística portuária.

ABSTRACT – Rail discharge of bulk solids depends on the quick selection of the machines that open the railcars, but the diversity of the fleet makes this choice reactive. This case study, at a hopper of the Port of Santos, analyzed fleet variability and discharge cycle time, supported by Lean Manufacturing and Systematic Layout Planning, through a technical visit, analysis of the railcar register and a time study of trainsets. The results indicated that the railcar series determines the opening mechanism and that the variation in cycle times reveals opportunities for improvement. A display is proposed to anticipate the selection of machines by railcar position, reducing reactive movements and increasing the predictability of the operation.

Keywords: Railcar variability; Cycle time; Rail discharge; *Lean Manufacturing*; Port logistics.

ISSN 2317-1316

1 INTRODUÇÃO

A crescente participação do agronegócio brasileiro no comércio exterior reforça a necessidade de aprimoramento contínuo dos processos logísticos em terminais portuários, especialmente no escoamento de granéis sólidos. O Porto de Santos figura como um dos principais corredores de exportação desses produtos, de modo que ganhos de eficiência na descarga ferroviária impactam diretamente a competitividade da cadeia logística do agronegócio.

No terminal estudado, a descarga é realizada em uma moega ferroviária que recebe composições de três vagões de diferentes séries e mecanismos de abertura, exigindo máquinas específicas para cada tipo de comporta. Na situação atual, o colaborador posicionado no interior da moega precisa observar cada vagão para identificar o tipo de abertura e, só então, deslocar-se até a máquina correspondente, posicioná-la e abrir o vagão. Trata-se de um processo reativo, que gera deslocamentos de máquinas em um espaço reduzido.

O presente estudo tem como objetivo geral analisar a operação de descarga da moega e propor uma solução de antecipação de informação para reduzir movimentações desnecessárias e melhorar a eficiência. Como objetivos específicos, buscou-se: (I) mapear o processo atual por meio de visita técnica; (II) caracterizar a variabilidade da frota de vagões e dos mecanismos de abertura; (III) mensurar, por cronoanálise, o tempo de ciclo de descarga; e (IV) propor um visor de informação para o interior da moega e estimar seu ganho potencial, com base em *Lean Manufacturing* e *Systematic Layout Planning* (SLP).

A justificativa do estudo está em duas lacunas práticas: a falta de uma caracterização quantitativa de como a diversidade da frota se relaciona ao tempo de ciclo da descarga e a ausência de um meio que leve ao interior da moega a informação já disponível na entrada da composição. Ao tratar as duas, o trabalho busca oferecer ao terminal uma proposta para reduzir deslocamentos de máquinas e ganhar previsibilidade operacional, com uma solução de baixo custo.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa é aplicada, exploratória e quali-quantitativa, estruturada como estudo de caso em uma moega ferroviária de descarga de granéis sólidos no Porto de Santos. A empresa

ISSN 2317-1316

responsável pelo terminal tem ciência de ser objeto de estudo e teve sua identidade preservada neste trabalho.

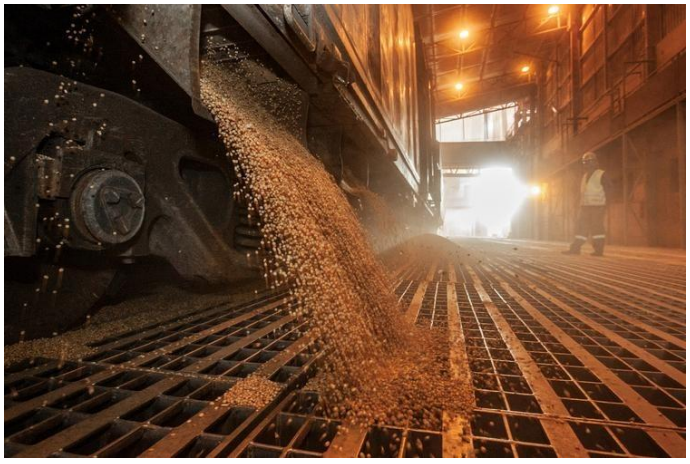
2.1 Logística ferroviária de granéis sólidos e o Porto de Santos

O transporte ferroviário é historicamente relevante para o escoamento de *commodities* agrícolas no Brasil, em razão de sua capacidade de movimentar grandes volumes a custos competitivos em longas distâncias (Ballou, 2006). O Porto de Santos consolidou-se como um dos principais corredores de exportação de granéis sólidos do país, recebendo composições de diferentes origens e operadoras, o que impõe aos terminais a necessidade de lidar com uma frota heterogênea de vagões (Andrade, 2007).

2.2 Vagões graneleiros e a moega ferroviária

Os vagões graneleiros apresentam diferentes séries construtivas, cada uma associada a um mecanismo específico de abertura das comportas, tais como chave estrela, chave alavanca e sistemas de descarga automatizada. A moega ferroviária, estrutura que recebe o material descarregado por gravidade, conforme mostra a Figura 1, deve operar com essa diversidade de mecanismos, o que demanda diferentes máquinas e ferramentas ao longo do corredor operacional (Silva, 2015).

Figura 1: Moega ferroviária em operação de descarga de soja.



Fonte: Vizine (2024).

Para a abertura das comportas, utilizam-se máquinas de acionamento pneumático, de diferentes modelos conforme o mecanismo do vagão (Figura 2). No processo estudado, o farelo de soja, por tender à compactação, pode exigir ainda o uso de descompactadores. A ausência

ISSN 2317-1316

de informação prévia sobre a composição que se aproxima favorece decisões reativas quanto à seleção e ao posicionamento dos equipamentos.

Figura 2: Máquinas de abertura pneumática das comportas e descompactador de farelo.



Fonte: Acervo dos autores (2026).

2.3 Segurança e ergonomia na operação

A operação envolve riscos associados ao uso de máquinas e equipamentos de acionamento pneumático, estando sujeita à Norma Regulamentadora nº 12 (NR-12), sobre segurança em máquinas e equipamentos (Ministério do Trabalho e Previdência, 2022a), e à Norma Regulamentadora nº 17 (NR-17), sobre ergonomia (Ministério do Trabalho e Previdência, 2022b).

2.4 *Lean Manufacturing* e *Systematic Layout Planning*

A filosofia *Lean Manufacturing* fundamenta-se na identificação e eliminação de atividades que não agregam valor (Womack e Jones, 2004). Entre os desperdícios associados ao Sistema Toyota de Produção, destacam-se a movimentação excessiva e a espera, recorrentes em operações cujo fluxo depende da disponibilidade física de equipamentos e informações. O diagrama de espaguete permite representar os deslocamentos dos operadores e identificar oportunidades de redução de desperdício (Slack, Chambers e Johnston, 2015).

O *Systematic Layout Planning* (SLP), proposto por Muther (2015), é um método estruturado para problemas de arranjo físico, baseado na análise de produto, quantidade, roteiro, serviços de suporte e tempo, no mapeamento do fluxo, na definição de relações de proximidade entre atividades e no desenvolvimento de alternativas de layout compatíveis com as restrições existentes. A combinação entre *Lean Manufacturing* e SLP associa o diagnóstico de desperdícios a uma proposta sistemática de reorganização física dos recursos (Carneiro, 2014; Fugiwara, 2023).

ISSN 2317-1316

2.5 Visita técnica e mapeamento do processo

Para compreender a atividade, os autores realizaram visita técnica ao terminal, em 19/03/2026, acompanhados por supervisores da empresa. Na visita, o processo foi mapeado e documentado por registros fotográficos (Figura 3), e observaram-se a movimentação das 12 máquinas pneumáticas (seis de abertura e seis descompactadores), o espaço reduzido disponível para essa movimentação e aspectos de ergonomia e de desgaste dos colaboradores.

O ciclo de descarga ocorre de forma fracionada: o trem é dividido em grupos de três vagões, denominados composições neste trabalho, posicionados na moega um por vez. Em cada ciclo, as cortinas são abaixadas e os sugadores de particulados acionados; as máquinas abrem os vagões para a descarga e, após o esvaziamento, eles são fechados e as cortinas levantadas, liberando o espaço para que a composição siga para a linha de vagões vazios e dê lugar à próxima.

Figura 3: Corredor da moega ferroviária do terminal portuário em Santos, objeto de estudo.



Fonte: Acervo dos autores (2026).

2.6 Caracterização da frota

A caracterização da frota baseou-se no cadastro de 10.829 vagões graneleiros, contendo série (HPT, HTT ou HFT), fabricante, sistema de descarga, proprietário e mecanismo de abertura (chave estrela, chave alavanca GBMX, chave alavanca tipo Z Randon, alavanca tremonha ou descarga automatizada). Esses dados permitiram quantificar a associação entre série e mecanismo, subsidiando a análise de variabilidade da etapa de dados de entrada do SLP.

ISSN 2317-1316

2.7 Cronoanálise

A cronoanálise foi realizada no período de 17/08/2026 a 23/09/2026, no turno diurno, por observação direta de 20 composições de três vagões, totalizando 60 vagões, com a diversidade de produtos operados (farelo de soja, soja e milho, estes dois últimos agrupados como grãos). A coleta foi feita por uma das autoras, que atua na empresa estudada, com autorização da organização.

O tempo de ciclo foi cronometrado desde a entrada da composição na moega, com o abaixamento das cortinas e o acionamento dos sugadores, até o fechamento dos vagões após a descarga completa e a abertura das cortinas para a saída da composição. Para cada composição, registraram-se também a data, a moega (A ou B), o produto, a quantidade de máquinas no corredor, o modelo de cada vagão e o mecanismo acionado. Os dados foram tabulados em planilha eletrônica e tratados por estatística descritiva (média, desvio-padrão e comparação entre subgrupos). O tempo de movimentação das máquinas, isoladamente, não foi medido nesta etapa, e sua mensuração separada constitui o próximo passo da pesquisa.

2.8 Estimativa do ganho potencial

O ganho potencial da proposta foi estimado por cenários, abordagem usual para dimensionar o benefício de uma melhoria antes de sua implantação. Cada cenário combina duas premissas: a parcela do ciclo ocupada pela movimentação das máquinas e a redução dessa movimentação decorrente da antecipação da informação.A redução do ciclo resulta do produto das duas e foi aplicada ao tempo médio de ciclo observado. Para converter o resultado em tempo por turno, adotou-se a média informada pela operação de 12 composições (36 vagões) por turno. A capacidade teórica foi calculada pelo número de ciclos por hora (3.600 s divididos pelo tempo de ciclo), multiplicado por três vagões por ciclo, supondo ciclos consecutivos. Como referências internas complementares, consideraram-se a diferença entre o ciclo médio e o menor ciclo observado, e a diferença entre as médias das moegas A e B.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Caracterização da frota de vagões

A frota analisada é composta por 10.829 vagões, distribuídos entre as séries HPT (3.834; 35,4%), HTT (3.582; 33,1%) e HFT (3.413; 31,5%). Predominam a chave estrela (32,9%) e a chave alavanca GBMX (32,7%), seguidas pela alavanca tremonha (20,9%) e pela chave

ISSN 2317-1316

alavanca tipo Z Randon (13,1%). A descarga automatizada representa apenas 0,4% da frota (44 vagões), conforme mostra a Tabela 1.

Tabela 1: Distribuição da frota por mecanismo de abertura

Mecanismo de abertura	Vagões	%
Chave estrela	3.568	32,9
Chave alavanca GBMX	3.538	32,7
Alavanca tremonha	2.260	20,9
Chave alavanca tipo Z Randon	1.419	13,1
Descarga automatizada	44	0,4
Total	10.829	100,0

O cruzamento entre série e mecanismo (Tabela 2) evidencia associação quase determinística: a série HFT concentra-se na alavanca tremonha (2.260 vagões) e na chave tipo Z Randon (1.064); a HPT, na chave estrela (3.479); e a HTT, na chave alavanca GBMX (3.538), reunindo ainda 43 dos 44 vagões automatizados (97,7%). O padrão indica que o mecanismo decorre do projeto construtivo da série, e não de uma escolha operacional independente, achado relevante para o dimensionamento de equipamentos e para a proposta apresentada na seção 4.3.

Tabela 2: Mecanismo de abertura por série do vagão (número de vagões)

Série	Alavanca tremonha	Chave alavanca GBMX	Chave tipo Z Randon	Chave estrela	Automatizada
HFT	2.260	0	1.064	89	0
HPT	0	0	354	3.479	1
HTT	0	3.538	1	0	43

A automação da descarga mostrou-se, portanto, incipiente e concentrada em um subconjunto restrito da frota, o que reforça a relevância de soluções voltadas à operação manual predominante, foco deste estudo.

3.2 Cronoanálise do tempo de ciclo de descarga

A cronoanálise de 20 composições (60 vagões) registrou tempo médio de ciclo de 21,8 min (desvio-padrão de 7,5 min; mínimo de 10,8 min e máximo de 36,8 min), com coeficiente de variação de aproximadamente 35%, indicando dispersão relevante entre os ciclos, compatível com a instabilidade de uma operação em que a identificação do mecanismo ocorre de forma reativa, embora a Tabela 3 mostre que moega e produto também contribuem para essa

ISSN 2317-1316

variação. A Tabela 3 apresenta o tempo médio por moega, produto e quantidade de máquinas disponíveis no corredor.

Tabela 3: Tempo médio de ciclo de descarga por variável operacional

Variável	Categoria	Tempo médio (min)	Ciclos (n)
Moega	A	29,6	5
Moega	B	19,2	15
Produto	Farelo de soja	24,8	5
Produto	Grãos	20,8	15
Máquinas no corredor	4	31,7	3
Máquinas no corredor	7	19,2	14
Máquinas no corredor	10	23,7	3

A moega A apresentou tempo médio de ciclo 54% superior ao da moega B (29,6 contra 19,2 min), sugerindo que o problema não é homogêneo entre as instalações e pode estar associado a diferenças físicas de layout, o que demanda investigação específica do arranjo de cada moega. Ciclos com quatro máquinas no corredor apresentaram tempo médio superior (31,7 min) ao de ciclos com sete (19,2 min), padrão que contraria a hipótese de que mais máquinas implicariam ciclos mais longos. Esse resultado pode estar associado a uma maior necessidade de deslocar e reposicionar as máquinas quando há poucas disponíveis, mas isso não pode ser confirmado sem a medição separada da movimentação. Além disso, os três ciclos com quatro máquinas ocorreram na moega A, de modo que os efeitos da moega e da disponibilidade de máquinas não podem ser separados com a amostra atual.

Quanto ao produto, os ciclos com farelo de soja apresentaram tempo médio 19% superior ao dos ciclos com grãos (24,8 contra 20,8 min), resultado coerente com a etapa adicional de descompactação do farelo observada no processo. As comparações são univariadas e baseadas em subgrupos pequenos, devendo ser interpretadas como indícios.

3.3 Proposta de um visor de informação para o interior da moega

Os dois conjuntos de dados convergem para a mesma interpretação: a variabilidade construtiva dos vagões não constitui, por si só, um desperdício, mas torna-se fonte de ineficiência quando a informação sobre o tipo de abertura só é obtida no momento em que o colaborador observa o vagão dentro da moega. Como a série do vagão determina quase

ISSN 2317-1316

integralmente o mecanismo de abertura (seção 4.1), a identificação da série é suficiente para indicar a máquina necessária.

Propõe-se, então, a instalação de um visor no interior da moega, semelhante aos painéis das balanças rodoviárias. O colaborador que identifica os tipos de vagão antes da entrada da composição envia a informação ao visor, que indica, para cada posição da composição (1º, 2º e 3º vagão), o vagão e a máquina correspondente. Dessa forma, os colaboradores internos podem posicionar-se nas máquinas corretas antes da chegada do vagão, substituindo a sequência atual (observar o vagão, deslocar-se até a máquina e posicioná-la) pela leitura do visor e posicionamento direto.

A antecedência da informação é compatível com a proposta. Na operação, decorrem cerca de dois minutos entre a identificação do vagão e sua chegada à posição de descarga e, enquanto a composição em operação é descarregada, já é possível identificar os vagões seguintes. O visor deve indicar a máquina por posição, e não apenas o modelo do vagão, pois a série HFT, por exemplo, utilizou mais de um código de máquina na amostra. Para uma composição cujos vagões das posições 1, 2 e 3 exijam as máquinas 2010, 2020 e 2010, o visor exibiria essa sequência, e o colaborador posicionaria as máquinas correspondentes antes da liberação da descarga. Sugere-se painel industrial com proteção contra poeira e umidade (grau de proteção contra ingresso IP65 ou IP66), cuja especificação final dependerá da classificação da área quanto a atmosferas explosivas, em razão da poeira de grãos.

A proposta inicial de engenharia, derivada do SLP, previa também nichos de recuo laterais na estrutura da moega para guardar as 12 máquinas quando inativas, desobstruindo o corredor e eliminando conflitos de trajetória. A obra civil mostrou-se inviável por limitações orçamentárias, e por isso a solução proposta concentra-se na antecipação da informação. O reposicionamento prévio das máquinas conforme a frequência de uso de cada mecanismo, evidenciada na Tabela 1, pode complementá-la. Trata-se de uma proposta voltada à implantação futura, cujo potencial de ganho é estimado na seção 4.4.

3.4 Estimativa do ganho potencial

A Tabela 4 apresenta três cenários hipotéticos, definidos conforme a seção 3.4, aplicados ao tempo médio de ciclo de 21,8 min e a 12 composições por turno. As premissas não foram medidas e devem ser entendidas como ilustrativas.

ISSN 2317-1316

Tabela 4: Cenários de redução do ciclo com a antecipação da informação (premissas hipotéticas)

Cenário	Movimentação no ciclo	Redução da movimentação	Redução do ciclo	Min por ciclo	Min por turno	Vagões/h (teórico)
Atual	–	–	–	–	–	8,3
Conservador	20%	30%	6%	1,3	15,7	8,8
Intermediário	30%	40%	12%	2,6	31,4	9,4
Otimista	40%	50%	20%	4,4	52,3	10,3

Nesses cenários, a redução estimada varia de 1,3 a 4,4 min por ciclo, o que equivale a 15,7 a 52,3 min por turno. Em termos de capacidade teórica, o ciclo médio atual corresponde a cerca de 2,8 ciclos, ou 8,3 vagões, por hora, e os cenários elevam esse valor para 8,8 a 10,3 vagões por hora. Trata-se de capacidade teórica, calculada com ciclos consecutivos: com 12 composições por turno, os ciclos ocupam cerca de 4,4 h, e o aproveitamento efetivo do ganho depende da chegada das composições ao terminal. Como referências internas, a diferença entre o ciclo médio e o menor ciclo observado é de 11,0 min, valor que representa um limite superior e não uma previsão. A diferença entre as médias das moegas A e B é de cerca de 10,4 min por ciclo, mas a moega A conta com apenas cinco ciclos. Esses valores indicam o potencial da proposta e servem de referência para sua implantação futura.

3.5 Discussão em relação aos objetivos e à literatura

Os resultados atendem aos objetivos propostos. O mapeamento do processo (objetivo I) evidenciou a sequência de identificação, deslocamento e posicionamento das máquinas; a caracterização da frota (objetivo II) mostrou que a série do vagão determina quase integralmente o mecanismo de abertura; a cronoanálise (objetivo III) quantificou um ciclo médio de 21,8 min com dispersão de cerca de 35%; e a estimativa por cenários (objetivo IV) indicou ganho potencial de 1,3 a 4,4 min por ciclo.

Em relação à literatura, a movimentação excessiva e a espera, associadas ao Sistema Toyota de Produção por Womack e Jones (2004), aparecem na operação estudada como deslocamentos reativos de máquinas, e o diagrama de espaguete descrito por Slack, Chambers e Johnston (2015) é a ferramenta indicada para quantificá-los em estudos futuros. A análise de dados de entrada proposta no SLP (Muther, 2015) mostrou-se útil, pois a relação entre série e mecanismo orientou a proposta do visor. Diferentemente de estudos baseados em modelos de simulação de terminais portuários (Carneiro, 2014; Fugiwara, 2023), este trabalho apoia-se em

ISSN 2317-1316

tempos cronometrados em campo e em uma solução de baixo custo, o que lhe dá aderência prática, mas limita a generalização. A comparação quantitativa com outros terminais não foi realizada e constitui lacuna a ser explorada.

3.6 Limitações do estudo

A cronoanálise baseia-se em 20 composições coletadas em um único fornecedor, no turno diurno e por uma única observadora, que atua na empresa estudada, o que limita a generalização dos resultados e impede a verificação de concordância entre observadores. O tempo medido corresponde ao ciclo completo, sem separação da movimentação das máquinas, de modo que a parcela do ciclo atribuída a ela é uma premissa.

4 CONCLUSÃO

Este estudo caracterizou a variabilidade de uma frota de 10.829 vagões graneleiros e mensurou, por cronoanálise, o tempo de ciclo de 20 composições em uma moega ferroviária no Porto de Santos. Os resultados mostraram associação quase determinística entre série e mecanismo de abertura, baixa presença de descarga automatizada (0,4% da frota) e ciclo médio de 21,8 min, com diferenças entre moegas, produtos e disponibilidade de máquinas. Como contribuição, o trabalho oferece uma caracterização quantitativa da operação e uma proposta de baixo custo, um visor que informe, com antecedência, o vagão e a máquina de cada posição, com ganho potencial estimado de 1,3 a 4,4 min por ciclo em cenários hipotéticos. Entre as limitações, destacam-se a amostra de 20 composições, a coleta em um único turno e por uma única observadora e a ausência de medição separada da movimentação das máquinas. Como próximos passos, sugerem-se a medição separada do tempo de movimentação, a ampliação da amostra para outros turnos e fornecedores, a implantação piloto da proposta com comparação antes e depois e o aprofundamento da fundamentação em gestão visual.

5 DECLARAÇÃO DE USO DE IA

Declaração de Uso de IA: Durante a elaboração deste trabalho, utilizou-se a ferramenta Claude (Anthropic) para a análise estatística descritiva das bases de dados, a organização do conteúdo e a redação preliminar do texto conforme o modelo do congresso. O conteúdo gerado foi revisado, editado e validado pelos autores, que assumem total responsabilidade pelo texto final.

ISSN 2317-1316

6 REFERÊNCIAS

Andrade LEC. Um estudo sobre terminais intermodais para granéis sólidos. Dissertação [Mestrado em Engenharia de Transportes]. São Paulo: Escola Politécnica, Universidade de São Paulo; 2007.

Ballou RH. Gerenciamento da cadeia de suprimentos: logística empresarial. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2006.

Carneiro FQ. Simulação de um terminal portuário de grãos. Dissertação [Mestrado]. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais; 2014.

Fugiwara ES. Utilização de um modelo de simulação para o dimensionamento de um terminal portuário multiproduto. Dissertação [Mestrado]. São Paulo: Universidade de São Paulo; 2023.

Ministério do Trabalho e Previdência. NR-12 – Segurança no trabalho em máquinas e equipamentos. Brasília: Ministério do Trabalho e Previdência, 2022a.

Ministério do Trabalho e Previdência. NR-17 – Ergonomia. Brasília: Ministério do Trabalho e Previdência, 2022b.

Muther R. Systematic layout planning. 4. ed. Kansas City: Management & Industrial Research Publications, 2015.

Silva LCF. Uma metodologia para avaliação de layout de pátios ferroviários de carga para estudos no nível estratégico. Dissertação [Mestrado em Engenharia]. Rio de Janeiro: Instituto Militar de Engenharia; 2015.

Slack N, Chambers S, Johnston R. Administração da produção. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2015.
Vizine A. Moegão: maior obra pública portuária do país aumentará descarga de vagões que chegam ao porto. Folha do Litoral News. Paranaguá, 16 mar 2024.

Womack JP, Jones DT. A mentalidade enxuta nas empresas: eliminando o desperdício e criando riqueza. 3. ed. Rio de Janeiro: Campus, 2004.