

Otimização da Pré-Estufagem: Modelos de Armazenagem e Sequenciamento de Cargas para Acelerar o Carregamento de Contêineres em Centros de Distribuição
Optimization of Pre-Stuffing: Storage Models and Load Sequencing to Accelerate Container Loading in Distribution Centers

Autor: Ivan de Matos

Formado em Logística, pelo Centro Universitário Leonardo Da Vinci

Pós-graduado em Administração de Pessoas, pelo Centro Universitário Leonardo da Vinci

Resumo

A eficiência no processo de carregamento de contêineres representa um dos maiores desafios na gestão de cadeias logísticas globais, especialmente em centros de distribuição (CDs) de grande porte. A pré-estufagem, prática de organizar previamente as cargas em áreas específicas para posterior estufagem em contêineres, surge como estratégia essencial para reduzir custos, minimizar erros e acelerar operações. Este artigo analisa modelos de armazenagem e sequenciamento de cargas que contribuem para a otimização da pré-estufagem, com base em estudos de Ballou (2006), Bowersox e Closs (2014), Moura (2015) e relatórios de organizações internacionais como a UNCTAD (2021). A pesquisa evidencia que o uso de algoritmos de roteirização, sistemas de gestão de armazéns (WMS) e simulações computacionais permitem alinhar eficiência operacional e competitividade empresarial. Por meio de uma abordagem analítica e aplicada, demonstra-se que a otimização da pré-estufagem não apenas reduz o tempo de carregamento de contêineres, mas também fortalece a resiliência logística diante das demandas do comércio internacional.

Palavras-chave: Pré-estufagem; Armazenagem; Sequenciamento de cargas; Centros de distribuição; Logística.

Abstract

Efficiency in the container loading process represents one of the major challenges in global supply chain management, especially in large distribution centers (DCs). Pre-stuffing, the practice of previously organizing cargo in specific areas for subsequent stuffing into containers, emerges as an essential strategy to reduce costs, minimize errors, and accelerate operations. This article analyzes storage models and load sequencing that contribute to the optimization of pre-stuffing, based on studies by Ballou (2006), Bowersox and Closs (2014), Moura (2015), and reports from international organizations such as UNCTAD (2021). The research shows that the use of routing

algorithms, warehouse management systems (WMS), and computational simulations allows aligning operational efficiency and business competitiveness. Through an analytical and applied approach, it is demonstrated that pre-stuffing optimization not only reduces container loading time but also strengthens logistical resilience in the face of international trade demands.

Keywords: Pre-stuffing; Storage; Load sequencing; Distribution centers; Logistics.

1. Introdução à Pré-Estufagem no Contexto Logístico

A logística moderna exige sincronização entre etapas distintas da cadeia de suprimentos, especialmente em operações que envolvem transporte internacional e exportação de contêineres. Nesse cenário, a **pré-estufagem** surge como uma prática estratégica voltada para a organização prévia das cargas antes de sua efetiva inserção no contêiner. Ao contrário de uma simples etapa intermediária, a pré-estufagem deve ser compreendida como um **processo crítico de planejamento e eficiência operacional**, já que impacta diretamente os tempos de carregamento, o aproveitamento do espaço e a redução de custos associados a movimentações desnecessárias (Ballou, 2006). Essa etapa tornou-se ainda mais importante em centros de distribuição que operam em alta escala, nos quais atrasos mínimos podem comprometer toda a programação logística e gerar perdas financeiras significativas.

Historicamente, a estufagem de contêineres ocorria de forma reativa, apenas quando os pedidos eram liberados e os veículos já aguardavam no pátio para o carregamento. Esse modelo gerava esperas prolongadas, excesso de movimentações internas e elevado risco de erros de conferência. A evolução das práticas logísticas, contudo, trouxe a percepção de que a preparação antecipada das cargas poderia reduzir a variabilidade no fluxo e proporcionar maior previsibilidade. De acordo com Christopher (2016), a transição de operações reativas para **operações proativas e planejadas** é um marco da logística moderna, sendo a pré-estufagem um exemplo claro dessa mudança de paradigma, que transforma custos ocultos em ganhos visíveis de eficiência.

O conceito de pré-estufagem também está intrinsecamente ligado ao **desenho do layout físico** dos armazéns. Uma área de staging organizada permite reduzir distâncias de movimentação, minimizar contrafluxos e garantir que as cargas destinadas a diferentes contêineres não sejam misturadas. Nesse sentido, autores como Bowersox e Closs (2014) defendem que o alinhamento entre o espaço físico, os fluxos operacionais e os sistemas de informação constitui o tripé essencial para que essa prática funcione de forma eficaz. Sem essa sinergia, o que poderia ser uma solução estratégica acaba se transformando em um gargalo adicional.

Outro ponto central é que a pré-estufagem deve ser entendida não apenas como uma questão de espaço, mas como um **mecanismo de sincronização temporal**. Isso significa que o objetivo não é apenas posicionar mercadorias próximas às docas, mas fazê-lo de forma alinhada aos horários de chegada dos veículos, às janelas portuárias e às prioridades de embarque. Moura (2015) destaca que esse alinhamento é crucial para reduzir a ociosidade de recursos, tanto de equipamentos

internos quanto dos transportadores externos. Sem a lógica temporal, a área de pré-estufagem corre o risco de ser transformada em um “depósito de espera”, acumulando ineficiências.

Além da questão operacional, a prática da pré-estufagem dialoga diretamente com a **gestão de riscos logísticos**. A organização inadequada das cargas pode levar a erros de expedição, avarias em produtos sensíveis e até mesmo ao não cumprimento de exigências aduaneiras ou fitossanitárias. Tais falhas resultam não apenas em custos adicionais, mas também em danos à imagem e à confiabilidade da empresa perante clientes e parceiros. Rodrigue, Comtois e Slack (2020) lembram que, em cadeias globais de suprimentos, a confiabilidade é um ativo tão importante quanto a velocidade, e práticas como a pré-estufagem contribuem diretamente para a construção dessa confiança.

No Brasil, esse processo assume ainda mais relevância em razão da **volatilidade logística** característica do país. Problemas como infraestrutura deficiente, congestionamentos urbanos e imprevisibilidade de prazos portuários ampliam a necessidade de que o carregamento seja o mais rápido e previsível possível. A pré-estufagem, ao reduzir o tempo de ocupação de docas e facilitar o cumprimento de janelas de embarque, torna-se um diferencial competitivo em mercados cada vez mais pressionados por custos e prazos. Nesse contexto, Ballou (2006) aponta que práticas de planejamento detalhado, embora demandem investimento inicial, apresentam retornos claros em médio prazo.

Outro aspecto que merece destaque é a relação entre a pré-estufagem e as **tecnologias de informação aplicadas à logística**. Sistemas de gerenciamento de armazéns (WMS) e de transportes (TMS) possibilitam maior integração entre o fluxo físico e a programação dos embarques. A utilização de etiquetas eletrônicas, leitores de RFID e dashboards em tempo real reduz erros humanos e confere maior visibilidade ao processo. Gu, Goetschalckx e McGinnis (2010) afirmam que, sem o suporte de sistemas digitais, a gestão de uma pré-estufagem eficiente em operações de grande porte se torna praticamente inviável.

Do ponto de vista econômico, a pré-estufagem deve ser analisada como um **investimento em produtividade e redução de custos indiretos**. Embora seja necessário destinar áreas específicas e treinar equipes, os ganhos se traduzem em menor necessidade de horas extras, redução de estadias de veículos e eliminação de retrabalhos. Além disso, empresas que adotam essa prática frequentemente percebem melhoria em indicadores-chave como o tempo médio de carregamento por contêiner e o índice de divergências de expedição. Esses elementos reforçam a tese de que a pré-estufagem deve ser vista como parte integrante da estratégia logística e não como um simples detalhe operacional (Christopher, 2016).

Por fim, é importante ressaltar que a pré-estufagem representa também um **processo de mudança cultural dentro das organizações**. Envolver equipes operacionais, gestores e parceiros externos no entendimento da importância dessa prática é fundamental para sua consolidação. Segundo Slack, Chambers e Johnston (2010), mudanças logísticas só se tornam sustentáveis quando são internalizadas como rotina e não vistas como imposição momentânea. Assim, a pré-estufagem

deve ser tratada como um componente permanente do sistema de gestão da cadeia de suprimentos, sustentando-se tanto pela eficiência que proporciona quanto pela previsibilidade que agrega.

2. Modelos de Armazenagem Aplicados à Pré-Estufagem

A organização da armazenagem é um dos fatores mais relevantes para a eficiência da pré-estufagem, pois define o fluxo de movimentação interna e a agilidade no acesso às mercadorias. Entre os modelos de armazenagem mais discutidos na literatura estão o **endereço fixo**, no qual cada produto ocupa sempre a mesma posição, e o **endereço aleatório**, que utiliza o espaço disponível conforme a chegada dos itens. Segundo Moura (2015), o modelo fixo facilita a localização e reduz a complexidade de gestão, mas apresenta baixa flexibilidade, enquanto o modelo aleatório otimiza a ocupação de espaço, porém exige sistemas avançados de controle, como os **WMS (Warehouse Management Systems)**, para evitar perdas de rastreabilidade. Ambos os modelos podem ser aplicados em áreas de pré-estufagem, dependendo do perfil da operação e do nível de variabilidade da demanda.

A escolha do modelo adequado depende diretamente da natureza da carga e da frequência de movimentação. Em operações de exportação de commodities, por exemplo, é comum que as mercadorias sejam homogêneas, o que permite adoção do modelo fixo. Já em empresas que lidam com cargas fracionadas e diversificadas, a utilização do modelo aleatório ou misto torna-se mais eficiente. Ballou (2006) ressalta que a decisão sobre a forma de armazenagem deve sempre considerar o **trade-off entre custo de estocagem e custo de movimentação**, sendo que o sucesso da pré-estufagem depende desse equilíbrio para garantir fluidez no momento do carregamento dos contêineres.

Além dos modelos tradicionais, é importante destacar os sistemas de **armazenagem dinâmica**, como porta-paletes deslizantes e estruturas de flow rack, que permitem maior giro dos estoques e facilitam a separação por lotes destinados a diferentes contêineres. Esses sistemas favorecem o método de **first in, first out (FIFO)**, reduzindo riscos de obsolescência e garantindo que os produtos sigam a sequência lógica de expedição. Conforme Bowersox e Closs (2014), a utilização de estruturas dinâmicas está cada vez mais associada a operações de exportação que demandam rapidez e alto nível de organização, características essenciais da pré-estufagem eficiente.

A pré-estufagem também pode se beneficiar de modelos híbridos, que combinam armazenagem fixa e aleatória em áreas distintas de um mesmo armazém. Essa abordagem é defendida por Gu, Goetschalckx e McGinnis (2010), que afirmam que a complexidade dos fluxos logísticos atuais exige soluções adaptativas e customizadas. Assim, produtos de maior valor agregado ou sujeitos a fiscalização aduaneira podem ocupar posições fixas, enquanto cargas mais padronizadas e de maior volume podem ser armazenadas de forma aleatória, reduzindo custos de espaço sem comprometer a segurança.

Outro ponto de relevância é a influência da **tecnologia digital** na gestão da armazenagem. Ferramentas de big data e inteligência artificial já são aplicadas para prever padrões de entrada e

saída de mercadorias, orientando decisões sobre posicionamento em áreas de pré-estufagem. Christopher (2016) observa que a integração de sistemas digitais com práticas físicas de armazenagem representa o novo paradigma da logística, em que o espaço não é apenas físico, mas também estratégico e analítico. Dessa forma, o layout da área de pré-estufagem passa a ser moldado por simulações e algoritmos, reduzindo erros humanos e otimizando cada metro quadrado disponível.

A escolha do modelo de armazenagem também está relacionada ao fator humano. Treinamentos, padronização de procedimentos e clareza de sinalização são componentes fundamentais para garantir que o sistema projetado seja executado de forma adequada. Slack, Chambers e Johnston (2010) ressaltam que um bom projeto de armazenagem perde eficácia se não for acompanhado por processos claros e pela adesão dos trabalhadores. No caso da pré-estufagem, isso se torna ainda mais evidente, pois qualquer erro de posicionamento pode acarretar atrasos ou embarques equivocados.

Do ponto de vista financeiro, a armazenagem em áreas de pré-estufagem deve ser considerada um **investimento estratégico**. Embora implique custos de estrutura e tecnologia, os benefícios advindos da redução de estadias de veículos, eliminação de retrabalhos e aumento da confiabilidade superam as despesas iniciais. Estudos de Moura (2015) indicam que empresas que adotaram sistemas estruturados de pré-estufagem reduziram em até 25% o tempo médio de carregamento de contêineres, evidenciando o retorno econômico dessas práticas.

Por fim, é fundamental compreender que a aplicação de modelos de armazenagem na pré-estufagem não segue fórmulas rígidas. Cada operação exige análise cuidadosa, levando em conta tipo de carga, volume movimentado, prazos de embarque e disponibilidade de recursos. Assim, mais do que adotar um modelo específico, o desafio é desenvolver **flexibilidade operacional**, capaz de adaptar-se rapidamente às variações da demanda. Essa flexibilidade é o que diferencia empresas que conseguem manter alto desempenho logístico em contextos de instabilidade e competição global (Christopher, 2016).

3. Sequenciamento de Cargas: Estratégias para Acelerar o Carregamento

O sequenciamento de cargas é uma das etapas mais críticas na otimização da pré-estufagem, pois determina a ordem em que os produtos serão posicionados para entrada nos contêineres. Um sequenciamento adequado garante que os itens sejam carregados na sequência correta de entrega, evitando movimentações adicionais no destino. De acordo com Ballou (2006), erros de sequenciamento podem gerar atrasos de dias inteiros em operações internacionais, aumentando custos logísticos e reduzindo a confiabilidade do serviço prestado. Nesse sentido, investir em modelos eficientes de sequenciamento não é apenas uma medida operacional, mas uma estratégia de competitividade.

Entre as técnicas mais aplicadas ao sequenciamento de cargas, destacam-se os algoritmos de **first fit** e **best fit**, que buscam otimizar o aproveitamento volumétrico do contêiner. Essas técnicas, derivadas de estudos de programação matemática e pesquisa operacional, têm sido utilizadas para reduzir espaços ociosos e melhorar o balanceamento do peso. Segundo Moura (2015), a aplicação de algoritmos computacionais permitiu a algumas empresas brasileiras reduzir em até 15% o número de viagens necessárias para atender a mesma demanda, evidenciando como o sequenciamento pode impactar diretamente os custos totais de transporte.

Além das técnicas matemáticas, o sequenciamento de cargas deve considerar aspectos práticos relacionados à natureza dos produtos. Cargas frágeis, perecíveis ou com requisitos específicos de ventilação devem ocupar posições estratégicas no contêiner, de forma a evitar danos durante o transporte. Bowersox e Closs (2014) destacam que a integração entre conhecimento técnico e experiência operacional é essencial para que o sequenciamento seja eficaz, pois nem sempre as soluções otimizadas no papel correspondem às melhores práticas no ambiente físico.

Outro fator relevante é a integração do sequenciamento com sistemas de informação. Ferramentas de WMS e TMS permitem que a lógica de sequenciamento seja automatizada, reduzindo falhas humanas e garantindo maior previsibilidade. Christopher (2016) ressalta que a digitalização das cadeias de suprimentos transformou o sequenciamento de cargas em um processo não apenas operacional, mas também estratégico, capaz de fornecer dados para tomada de decisão em tempo real. Com dashboards e relatórios integrados, gestores conseguem ajustar o planejamento conforme as condições externas, como atrasos de navios ou mudanças em pedidos de clientes.

O sequenciamento também está intimamente ligado à questão do tempo. Ao organizar previamente a ordem de carregamento, é possível reduzir drasticamente o período em que caminhões permanecem parados aguardando liberação. Esse fator é especialmente importante em países como o Brasil, onde a infraestrutura rodoviária precária e a concentração de cargas em poucos portos aumentam o risco de congestionamentos logísticos. Segundo Rodrigues e Sellitto (2009), práticas de sequenciamento estruturado podem reduzir em até 40% o tempo de espera em pátios de carregamento, tornando-se um diferencial competitivo.

Do ponto de vista estratégico, o sequenciamento deve ser visto como um componente de diferenciação no mercado. Empresas que conseguem entregar mercadorias no prazo, com menor índice de avarias e maior confiabilidade, fortalecem sua imagem junto a clientes e parceiros internacionais. Slack, Chambers e Johnston (2010) observam que a confiabilidade é um dos cinco pilares da estratégia de operações, ao lado de custo, qualidade, flexibilidade e velocidade, e o sequenciamento de cargas contribui diretamente para esse desempenho.

O uso de simulações computacionais é outro recurso importante para aprimorar o sequenciamento. Softwares baseados em algoritmos genéticos e programação linear permitem testar cenários alternativos de carregamento antes da execução prática. Essa abordagem possibilita identificar gargalos e ajustar planos sem comprometer os prazos de embarque. Moura (2015) aponta que a

simulação digital reduz significativamente os custos de retrabalho, tornando a pré-estufagem mais previsível e eficiente.

Por fim, é necessário compreender que o sequenciamento de cargas não é apenas uma técnica operacional, mas um processo que exige alinhamento entre diferentes atores da cadeia de suprimentos. Transportadores, operadores de armazém e clientes precisam estar conectados para que a lógica de carregamento seja coerente e eficaz. Rodrigue, Comtois e Slack (2020) destacam que a colaboração entre elos da cadeia é o que garante o sucesso do sequenciamento, transformando-o em uma prática de gestão integrada e não apenas em uma etapa isolada do processo logístico.

4. Tecnologias Digitais na Gestão da Pré-Estufagem

O papel das tecnologias digitais na logística moderna é cada vez mais determinante, e a etapa de pré-estufagem em centros de distribuição tem se configurado como um dos campos mais beneficiados pela transformação digital. A introdução de sistemas de gestão de armazéns (WMS) e sistemas integrados de gestão empresarial (ERP) possibilita o monitoramento em tempo real das cargas, desde a sua chegada ao centro de distribuição até o momento da estufagem no contêiner. Isso não apenas permite maior visibilidade sobre os fluxos internos, mas também contribui para a redução de erros humanos e a padronização dos processos, aspectos ressaltados por Bowersox, Closs e Cooper (2014) ao tratarem da importância da integração da informação na logística. Nesse sentido, a pré-estufagem deixa de ser uma prática meramente operacional e passa a ser compreendida como parte estratégica de uma cadeia de suprimentos digitalizada, na qual o fluxo de informações se equipara em relevância ao fluxo físico de mercadorias.

Outro fator essencial da digitalização é a capacidade de utilizar algoritmos de **big data** e de inteligência artificial para analisar históricos de movimentação, prever demandas e sugerir configurações ideais de pré-estufagem. Moura (2015) enfatiza que, ao aplicar técnicas de machine learning, é possível simular milhares de cenários de organização de cargas em frações de segundo, escolhendo aquele que gera o menor tempo de deslocamento dentro do armazém e o melhor aproveitamento de espaço no contêiner. Essa possibilidade de simulação computacional supera a lógica tradicional da experiência prática e empírica, trazendo ao gestor ferramentas mais confiáveis para a tomada de decisão. O resultado é a ampliação da eficiência, mas também a diminuição do custo operacional e da dependência exclusiva da mão de obra humana.

Além dos algoritmos, a incorporação de tecnologias de rastreamento em tempo real, como etiquetas RFID e sensores IoT (Internet of Things), tem ampliado a capacidade de controle sobre cada item armazenado e pré-posicionado. Christopher (2016) aponta que a visibilidade é um dos maiores determinantes da agilidade logística, e dispositivos conectados permitem acompanhar a movimentação de pallets, caixas e contêineres de forma instantânea. Para a pré-estufagem, isso significa saber exatamente onde cada carga se encontra, quanto tempo está na fila de espera e qual a ordem ideal de carregamento. Esse nível de detalhamento, que até poucos anos atrás era

impraticável, hoje torna-se um requisito para empresas que buscam competir em cadeias globais onde o tempo é fator decisivo de vantagem.

Outro avanço que merece destaque é a aplicação de **realidade aumentada (AR)** e **realidade virtual (VR)** em processos de planejamento de carregamento. Antes mesmo de movimentar fisicamente as cargas, softwares permitem simular diferentes arranjos de estufagem e validar qual deles apresenta o melhor aproveitamento do espaço interno do contêiner. Slack, Chambers e Johnston (2010) defendem que a utilização de simulações digitais reduz drasticamente a ocorrência de erros e retrabalhos, diminuindo também os riscos de avarias e acidentes. Para a pré-estufagem, a possibilidade de visualizar antecipadamente a disposição das mercadorias garante maior segurança na etapa de execução, além de acelerar o tempo de carregamento quando os veículos chegam ao centro de distribuição.

A adoção de **blockchain** na logística também tem demonstrado relevância para a pré-estufagem, especialmente no que diz respeito à rastreabilidade documental. Rodrigue, Comtois e Slack (2020) explicam que o blockchain oferece registros imutáveis de cada etapa de movimentação e armazenagem, o que aumenta a confiança entre embarcadores, transportadores e clientes finais. Em operações internacionais, onde a burocracia aduaneira e fiscal pode gerar gargalos, a utilização dessa tecnologia permite reduzir divergências de informações e assegurar maior agilidade nos processos de liberação. Assim, a pré-estufagem não se limita ao espaço físico do armazém, mas integra-se a uma rede de informações confiáveis que impactam todo o fluxo logístico.

No campo da sustentabilidade, as tecnologias digitais também desempenham papel relevante. Ao rastrear em tempo real as movimentações e consolidar dados de desempenho, os sistemas conseguem calcular emissões de CO₂ relacionadas ao transporte interno de cargas e propor alternativas para reduzi-las. Relatórios da UNCTAD (2021) indicam que empresas que aplicaram soluções digitais em seus centros de distribuição conseguiram reduzir até 18% as emissões associadas às operações de movimentação, comprovando que a tecnologia pode conciliar eficiência e responsabilidade ambiental. Essa conexão entre logística digital e sustentabilidade representa um diferencial competitivo, sobretudo em mercados onde as preocupações ambientais influenciam diretamente a escolha de fornecedores.

Contudo, a implementação dessas tecnologias não está isenta de desafios. Gu, Goetschalckx e McGinnis (2010) alertam que a digitalização exige investimentos significativos em infraestrutura e treinamento, além de uma mudança cultural nas organizações. Em muitos casos, trabalhadores que possuem longa experiência prática demonstram resistência ao uso de sistemas automatizados, temendo a substituição de funções. Por essa razão, é fundamental que as empresas conciliem inovação tecnológica com políticas de capacitação contínua, garantindo que a introdução de novas ferramentas seja acompanhada da valorização do capital humano. Dessa forma, a digitalização se torna um instrumento de fortalecimento, e não de substituição, das competências já existentes.

Em síntese, as tecnologias digitais transformam a pré-estufagem em um processo mais preciso, rápido e sustentável. A integração de big data, inteligência artificial, IoT, realidade aumentada e

blockchain gera não apenas ganhos operacionais, mas também maior resiliência e competitividade empresarial. Christopher (2016) resume esse fenômeno ao afirmar que o futuro da logística dependerá da capacidade das organizações de alinhar tecnologia e estratégia. Assim, compreender a importância das soluções digitais na pré-estufagem é compreender o caminho inevitável para a modernização das cadeias de suprimento e para o fortalecimento do comércio global.

5. Impactos Econômicos da Otimização da Pré-Estufagem

A otimização da pré-estufagem em centros de distribuição apresenta implicações econômicas diretas e indiretas que vão muito além da simples redução de custos operacionais. Segundo Ballou (2006), um dos grandes desafios da logística moderna é equilibrar o nível de serviço ao cliente com os custos totais da operação. Nesse contexto, quando a pré-estufagem é organizada de maneira eficiente, o tempo gasto para carregar um contêiner é reduzido, diminuindo assim a necessidade de horas extras, ociosidade de equipamentos e atrasos em cronogramas de transporte. Esses ganhos operacionais refletem imediatamente em menores despesas, aumentando a margem de lucro das empresas e fortalecendo sua competitividade frente a concorrentes nacionais e internacionais. Essa relação entre eficiência operacional e impacto econômico é um dos fundamentos para que muitas organizações priorizem investimentos em tecnologias e metodologias voltadas à pré-estufagem.

Outro impacto econômico relevante é a otimização do uso da frota e da infraestrutura logística. De acordo com Bowersox e Closs (2014), a eficiência em armazenagem e carregamento gera uma utilização mais racional dos veículos e equipamentos de movimentação, o que significa menos viagens ociosas, menor consumo de combustível e maior durabilidade dos ativos. Para empresas que operam em grande escala, como distribuidores globais de alimentos ou indústrias automotivas, a economia proporcionada pode representar milhões de dólares por ano. Isso demonstra que a pré-estufagem não deve ser vista apenas como uma etapa técnica da cadeia, mas como uma prática que impacta de maneira significativa a saúde financeira de todo o negócio, influenciando diretamente a formação de preços e a capacidade de competir em mercados sensíveis ao custo.

Os ganhos também podem ser percebidos na redução de perdas e avarias durante o processo de carregamento. Slack, Chambers e Johnston (2010) ressaltam que uma das principais causas de prejuízos em operações logísticas são os danos ocasionados por movimentações incorretas de mercadorias. Quando a pré-estufagem é realizada com planejamento e sequenciamento adequados, há menor necessidade de movimentações desnecessárias e reestufagem, o que diminui as chances de avarias. Esse fator, além de reduzir custos com substituições e indenizações, também melhora a imagem da empresa perante clientes e parceiros comerciais. Assim, o impacto econômico ultrapassa a dimensão operacional e alcança aspectos relacionados à reputação corporativa, um ativo cada vez mais valioso em um mercado competitivo.

Outro ponto importante é a relação entre otimização da pré-estufagem e a produtividade do trabalho. Moura (2015) observa que, ao reduzir gargalos operacionais, as empresas conseguem utilizar a mesma quantidade de funcionários para processar volumes maiores de carga, o que

umenta a produtividade por colaborador. Esse fator, quando multiplicado em operações de larga escala, gera ganhos de eficiência que fortalecem a posição da empresa no setor. Além disso, em contextos onde a escassez de mão de obra qualificada é um desafio, a capacidade de fazer mais com menos se torna uma vantagem econômica ainda mais significativa. Nesse sentido, a otimização não apenas reduz custos, mas também protege a empresa de riscos relacionados à volatilidade do mercado de trabalho.

No comércio internacional, a otimização da pré-estufagem desempenha um papel crítico para reduzir custos logísticos totais, que segundo dados da UNCTAD (2021) representam entre 10% e 15% do valor final de um produto em países emergentes. Quando as empresas conseguem reduzir atrasos em portos devido a carregamentos mal organizados, evitam custos adicionais como taxas de armazenagem portuária, multas por atrasos na devolução de contêineres e perda de prazos contratuais. Esses custos, muitas vezes invisíveis nas análises superficiais, representam parte significativa das despesas logísticas e podem comprometer a lucratividade de exportadores. Assim, a eficiência na pré-estufagem é também uma estratégia de inserção mais competitiva no mercado global, tornando os produtos nacionais mais acessíveis e atraentes para compradores estrangeiros.

Adicionalmente, a otimização pode contribuir para a redução de custos ambientais, os quais cada vez mais se convertem em custos financeiros devido a regulações e exigências de clientes. Christopher (2016) aponta que empresas que reduzem emissões associadas a operações logísticas não apenas fortalecem sua responsabilidade social corporativa, mas também evitam penalizações e se beneficiam de incentivos fiscais. Ao organizar melhor a pré-estufagem, reduzindo deslocamentos internos desnecessários e aumentando a eficiência energética de equipamentos, as empresas conseguem diminuir o consumo de energia e combustíveis, o que impacta diretamente os custos. Isso demonstra como a dimensão econômica e ambiental se entrelaçam, reforçando a relevância estratégica da prática.

Não menos importante é o efeito econômico indireto gerado pela satisfação do cliente. De acordo com Kotler e Keller (2012), a confiabilidade na entrega é um dos principais determinantes da fidelização de consumidores em cadeias de suprimento. Quando a pré-estufagem garante que os prazos sejam cumpridos com regularidade, a empresa constrói uma imagem de confiança e reduz custos associados à perda de clientes, devoluções e reclamações. Esse impacto, embora menos tangível que a redução de horas extras ou o menor consumo de combustível, pode ser ainda mais duradouro, pois contribui para a construção de relacionamentos comerciais estáveis e lucrativos ao longo do tempo.

Por fim, é importante destacar que os impactos econômicos da otimização da pré-estufagem não se restringem às empresas individualmente, mas reverberam em toda a cadeia de suprimentos e na economia de um país. Rodrigue, Comtois e Slack (2020) demonstram que cadeias logísticas mais eficientes aumentam a competitividade de regiões inteiras, atraindo investimentos e fortalecendo o comércio exterior. No Brasil, por exemplo, onde os custos logísticos representam em média 12,3% do PIB (ILOS, 2020), qualquer melhoria em processos como a pré-estufagem tem efeitos

significativos na economia nacional. Portanto, otimizar a pré-estufagem não é apenas uma decisão corporativa inteligente, mas também uma contribuição estratégica para a competitividade macroeconômica e para a inserção mais sólida do país no comércio internacional.

6. Sustentabilidade e Redução de Impactos Ambientais na Pré-Estufagem

A discussão sobre sustentabilidade na logística tem ganhado espaço nas últimas décadas, impulsionada tanto por pressões regulatórias quanto pela conscientização da sociedade sobre os efeitos ambientais das atividades econômicas. No contexto da pré-estufagem em centros de distribuição, essa preocupação se materializa em iniciativas que visam reduzir o desperdício de recursos, otimizar o consumo energético e minimizar as emissões de gases poluentes. Segundo McKinnon (2018), a logística sustentável não deve ser entendida apenas como um diferencial competitivo, mas como uma necessidade para garantir a viabilidade das cadeias de suprimentos no longo prazo. Isso significa que práticas aparentemente simples, como o correto posicionamento das cargas antes da estufagem, podem gerar impactos ambientais consideráveis, especialmente quando se consideram operações de grande escala.

Um dos principais benefícios ambientais da otimização da pré-estufagem é a redução de movimentações desnecessárias dentro dos centros de distribuição. Cada deslocamento de empilhadeiras, guindastes e outros equipamentos implica consumo de energia e, muitas vezes, combustíveis fósseis, contribuindo para a emissão de CO₂. Rodrigue, Comtois e Slack (2020) destacam que, em grandes armazéns, os custos ambientais associados a movimentações internas podem representar até 20% das emissões totais da operação. Quando o sequenciamento de cargas é planejado com antecedência, evita-se retrabalho e deslocamentos adicionais, promovendo uma economia de recursos que reflete tanto na eficiência quanto na sustentabilidade. Assim, a pré-estufagem bem organizada vai além da economia operacional: torna-se também um mecanismo de mitigação ambiental.

Outro ponto relevante é a diminuição de resíduos sólidos resultantes de embalagens danificadas ou mal posicionadas. Slack, Chambers e Johnston (2010) apontam que a má gestão de armazenagem frequentemente resulta em quebras de embalagens e avarias de produtos, gerando desperdício de materiais que poderiam ser evitados com práticas adequadas de pré-estufagem. Ao reduzir a necessidade de movimentações excessivas, há menor risco de danos físicos, o que significa também menor descarte de produtos e embalagens. Essa redução de resíduos contribui diretamente para metas corporativas de sustentabilidade e está alinhada aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU, especialmente o ODS 12, que trata de consumo e produção responsáveis.

A incorporação de tecnologias digitais, como sensores IoT e sistemas de monitoramento em tempo real, também tem relevância ambiental significativa. Segundo Christopher (2016), a capacidade de coletar e analisar dados em tempo real permite às empresas identificar gargalos e propor soluções que reduzam o consumo de energia em equipamentos de movimentação e refrigeração.

Além disso, esses sistemas podem emitir alertas para evitar sobrecargas em áreas específicas do armazém, o que reduz o risco de falhas e a necessidade de manutenções emergenciais, normalmente mais poluentes e custosas. Dessa forma, a tecnologia não é apenas um suporte operacional, mas também uma aliada estratégica na busca por práticas logísticas ambientalmente responsáveis.

O design dos armazéns e centros de distribuição também deve ser considerado no debate sobre sustentabilidade da pré-estufagem. Moura (2015) observa que a organização do espaço físico tem impacto direto sobre a eficiência energética e a circulação interna. Ambientes projetados para facilitar o fluxo contínuo de cargas reduzem a necessidade de movimentações redundantes e, conseqüentemente, diminuem o consumo energético. Além disso, a implementação de iluminação natural, sistemas de ventilação inteligente e o uso de energia renovável em armazéns são práticas que reforçam a integração entre sustentabilidade ambiental e eficiência operacional. Assim, o layout dos espaços de armazenagem pode ser entendido como parte integrante da estratégia sustentável de pré-estufagem.

Outro aspecto que merece destaque é a pressão exercida por clientes e parceiros comerciais, cada vez mais atentos à pegada ambiental das cadeias de suprimentos. Kotler e Keller (2012) ressaltam que consumidores conscientes tendem a valorizar empresas que demonstram compromisso com práticas sustentáveis, e esse comportamento se estende também ao mercado B2B. No setor logístico, onde a reputação desempenha papel crucial, alinhar práticas de pré-estufagem à sustentabilidade pode gerar vantagem competitiva significativa. Empresas que conseguem reduzir custos ambientais e comunicar esses resultados de forma transparente conquistam maior credibilidade no mercado, ampliando suas oportunidades de negócios e fortalecendo suas relações comerciais.

Além dos benefícios ambientais e reputacionais, a sustentabilidade na pré-estufagem pode resultar em ganhos financeiros concretos. McKinnon (2018) demonstra que empresas que adotam práticas sustentáveis frequentemente obtêm reduções expressivas em custos de energia, manutenção e descarte de resíduos. Isso significa que, ao contrário da visão tradicional que associa sustentabilidade a custos adicionais, a pré-estufagem sustentável pode se converter em uma fonte de economia. Essa perspectiva é reforçada por relatórios da UNCTAD (2021), que indicam que organizações que incorporaram indicadores ambientais em seus processos logísticos registraram ganhos de eficiência superiores a 15%, demonstrando que a sustentabilidade pode e deve caminhar lado a lado com a competitividade.

É importante ressaltar, contudo, que a transição para práticas sustentáveis exige mudanças culturais e investimentos de médio e longo prazo. Gu, Goetschalckx e McGinnis (2010) alertam que muitas organizações enfrentam barreiras internas para implementar soluções ambientalmente responsáveis, seja por resistência dos gestores ou pela ausência de métricas claras para mensurar os resultados. Nesse sentido, a adoção de indicadores de desempenho ambiental, como intensidade de emissões por tonelada movimentada, torna-se essencial para monitorar e justificar os

investimentos realizados. A pré-estufagem, por ser uma etapa estratégica e de fácil monitoramento, pode servir como porta de entrada para a disseminação de práticas sustentáveis em toda a cadeia de suprimentos.

Em síntese, a sustentabilidade na pré-estufagem transcende a simples adoção de práticas ecologicamente corretas, integrando-se a um modelo de gestão logística que busca simultaneamente eficiência econômica e responsabilidade socioambiental. A redução de emissões, o aproveitamento mais inteligente de recursos e a diminuição de resíduos são apenas alguns dos benefícios que uma pré-estufagem otimizada pode proporcionar. Como conclui Christopher (2016), o futuro da logística sustentável depende da capacidade das empresas de enxergar a sustentabilidade não como obrigação externa, mas como oportunidade de diferenciação e fortalecimento competitivo. Nesse sentido, a pré-estufagem sustentável emerge como um dos pilares centrais para conciliar logística, competitividade e preservação ambiental.

7. Desafios e Perspectivas Futuras da Pré-Estufagem

Um dos principais desafios enfrentados na pré-estufagem diz respeito à complexidade crescente das cadeias de suprimentos globais. Com o aumento da variedade de produtos, a redução dos ciclos de vida e a exigência de entregas cada vez mais rápidas, o planejamento e o sequenciamento de cargas se tornam atividades altamente sofisticadas. Segundo Ballou (2006), a variabilidade da demanda e a multiplicidade de canais de distribuição ampliam os riscos de erros e gargalos, exigindo soluções logísticas que conciliem flexibilidade e eficiência. Nesse cenário, a pré-estufagem precisa evoluir de uma prática operacional para uma estratégia integrada, capaz de lidar com a incerteza do ambiente globalizado e digital.

Outro desafio relevante está relacionado à necessidade de investimentos em tecnologia. Embora sistemas de gestão de armazéns (WMS) e algoritmos de sequenciamento já estejam disponíveis, muitas empresas ainda encontram dificuldades para implementar tais soluções, seja por limitações financeiras ou por falta de qualificação técnica. Bowersox e Closs (2014) apontam que a adoção de tecnologias disruptivas na logística exige não apenas aquisição de equipamentos, mas também treinamento de equipes e mudanças culturais. Nesse sentido, empresas que não conseguirem superar barreiras tecnológicas tendem a ficar em desvantagem competitiva, reforçando a necessidade de estratégias que combinem inovação com viabilidade econômica.

A sustentabilidade também se coloca como um desafio crescente para a pré-estufagem, uma vez que os regulamentos ambientais estão se tornando mais rigorosos em diversos países. Christopher (2016) argumenta que a pressão por cadeias de suprimentos verdes exige que as empresas busquem soluções que reduzam as emissões de gases de efeito estufa e promovam maior eficiência energética. No entanto, implementar essas práticas em operações de pré-estufagem requer investimentos em equipamentos modernos, readequação de layouts e adoção de métricas ambientais. Esses fatores podem aumentar os custos no curto prazo, criando dilemas estratégicos entre manter a competitividade de preços e atender às exigências de sustentabilidade.

A integração de tecnologias digitais, como inteligência artificial, aprendizado de máquina e internet das coisas (IoT), representa uma das principais perspectivas para o futuro da pré-estufagem. Moura (2015) enfatiza que a digitalização permite maior precisão no planejamento, reduzindo erros e possibilitando simulações em tempo real. Além disso, sistemas inteligentes podem prever a melhor ordem de carregamento de acordo com rotas, prazos de entrega e características dos produtos, otimizando o uso do espaço nos contêineres e acelerando a operação. Embora promissora, essa perspectiva exige infraestrutura tecnológica robusta, interoperabilidade entre sistemas e profissionais qualificados para análise e gestão dos dados gerados.

A globalização do comércio também projeta novos desafios e oportunidades para a pré-estufagem. Rodrigue, Comtois e Slack (2020) destacam que o aumento da interconectividade entre mercados amplia o volume de cargas movimentadas, mas também eleva a vulnerabilidade das cadeias a crises econômicas, pandemias e conflitos geopolíticos. Nesse contexto, a pré-estufagem precisa estar preparada para lidar com interrupções e incertezas, incorporando estratégias de resiliência. Isso inclui a diversificação de fornecedores, a utilização de estoques estratégicos e a implementação de sistemas de resposta rápida para minimizar os impactos de eventos disruptivos sobre o fluxo de cargas.

Outro aspecto que merece atenção é a gestão da mão de obra nos centros de distribuição. Slack, Chambers e Johnston (2010) observam que a automação e a digitalização tendem a reduzir a necessidade de atividades manuais, mas, ao mesmo tempo, exigem trabalhadores mais qualificados. Isso gera desafios relacionados à capacitação, retenção e valorização dos profissionais. Sem investimentos adequados em capital humano, a implementação de tecnologias de pré-estufagem pode gerar resistência, falhas operacionais e até conflitos trabalhistas. Portanto, as perspectivas futuras precisam contemplar não apenas a tecnologia, mas também a valorização da força de trabalho que dará suporte a essas transformações.

A colaboração entre empresas e a integração de cadeias também se apresentam como desafios e tendências para a pré-estufagem. Segundo Gu, Goetschalckx e McGinnis (2010), a competição atual não ocorre mais apenas entre empresas individuais, mas entre cadeias de suprimentos inteiras. Nesse sentido, práticas de pré-estufagem podem ser otimizadas quando há compartilhamento de informações, integração de sistemas e coordenação de processos entre diferentes atores. Essa colaboração, contudo, enfrenta barreiras como a falta de confiança, a proteção de dados estratégicos e a divergência de interesses comerciais. Superar esses obstáculos será essencial para tornar a pré-estufagem uma prática mais eficiente e alinhada às demandas globais.

Por fim, as perspectivas futuras apontam para a necessidade de alinhar a pré-estufagem a estratégias de inovação contínua. Kotler e Keller (2012) destacam que, em ambientes competitivos, a diferenciação ocorre por meio da capacidade de inovar e se adaptar às mudanças. No caso da pré-estufagem, isso significa investir constantemente em novas metodologias de organização, automação avançada e práticas sustentáveis. Ao mesmo tempo, a adaptação a contextos locais, como infraestrutura deficiente e regulamentações específicas, será determinante para o sucesso das

estratégias. Portanto, os próximos anos demandarão das empresas um equilíbrio entre eficiência operacional, inovação tecnológica e responsabilidade socioambiental, consolidando a pré-estufagem como elemento central da competitividade logística.

Conclusão

A análise da pré-estufagem nos centros de distribuição revela que essa prática deixou de ser um mero procedimento operacional para se tornar uma estratégia logística de alta relevância, capaz de integrar eficiência, sustentabilidade e inovação. Ao longo do estudo, observou-se que a otimização dessa etapa permite não apenas acelerar o carregamento de contêineres, mas também reduzir custos, minimizar impactos ambientais e contribuir para a competitividade das empresas no mercado globalizado. Como destacam Ballou (2006) e Bowersox e Closs (2014), a logística deve ser compreendida como um sistema integrado em que cada etapa, por menor que pareça, exerce influência sobre o desempenho global da cadeia de suprimentos.

Constatou-se ainda que a incorporação de tecnologias digitais, como inteligência artificial, aprendizado de máquina e internet das coisas, apresenta potencial transformador para a pré-estufagem, oferecendo maior precisão no sequenciamento de cargas e permitindo ajustes em tempo real. Essa perspectiva, já observada por Moura (2015) e Christopher (2016), aponta para um futuro em que a eficiência logística estará cada vez mais vinculada à capacidade de processar e analisar dados em larga escala. No entanto, o desafio reside em garantir que as empresas consigam viabilizar tais investimentos sem comprometer sua saúde financeira, o que reforça a importância de estratégias graduais e adaptadas à realidade de cada operação.

Outro aspecto relevante destacado ao longo da pesquisa é a sustentabilidade. A pré-estufagem otimizada, ao reduzir movimentações desnecessárias e minimizar avarias, contribui significativamente para a diminuição de emissões e resíduos, como defendem Rodrigue, Comtois e Slack (2020). Além de atender às pressões regulatórias e sociais, tais práticas fortalecem a reputação corporativa e podem gerar economias financeiras de longo prazo. Dessa forma, a sustentabilidade não deve ser vista como um custo adicional, mas como uma oportunidade estratégica de diferenciação e consolidação no mercado, conforme argumenta McKinnon (2018).

A pesquisa também evidenciou que o futuro da pré-estufagem dependerá da capacidade das empresas de superar barreiras relacionadas à gestão de pessoas e à colaboração entre atores da cadeia de suprimentos. Slack, Chambers e Johnston (2010) lembram que a automação não elimina a necessidade de capital humano, mas exige trabalhadores mais qualificados e adaptáveis. Além disso, Gu, Goetschalckx e McGinnis (2010) ressaltam que a competição atual ocorre entre cadeias de suprimentos, e não apenas entre empresas isoladas, o que reforça a urgência de práticas colaborativas para maximizar os ganhos coletivos.

Assim, conclui-se que a otimização da pré-estufagem deve ser entendida como uma estratégia multifacetada, que envolve planejamento inteligente, investimento tecnológico, compromisso sustentável e valorização de pessoas. O equilíbrio entre esses fatores será determinante para que

as organizações enfrentem os desafios do futuro e aproveitem as oportunidades oferecidas pela globalização e pela digitalização das cadeias logísticas. Em última instância, a pré-estufagem eficiente não apenas acelera o carregamento de contêineres, mas também se consolida como um diferencial competitivo essencial para empresas que buscam liderança no cenário logístico internacional.

Referências

- BALLOU, Ronald H. *Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos: Logística Empresarial*. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2006.
- BOWERSOX, Donald J.; CLOSS, David J. *Logística Empresarial: o processo de integração da cadeia de suprimento*. São Paulo: Atlas, 2014.
- CHRISTOPHER, Martin. *Logística e Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos: estratégias para a redução de custos e melhoria dos serviços*. 4. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2016.
- GU, J.; GOETSCHALCKX, M.; MCGINNIS, L. F. Research on warehouse design and performance evaluation: A comprehensive review. *European Journal of Operational Research*, v. 203, n. 3, p. 539-549, 2010.
- KOTLER, Philip; KELLER, Kevin Lane. *Administração de Marketing*. 14. ed. São Paulo: Pearson, 2012.
- MCKINNON, Alan. *Decarbonizing Logistics: Distributing Goods in a Low Carbon World*. London: Kogan Page, 2018.
- MOURA, Reinaldo A. *Administração de Materiais: um enfoque prático*. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2015.
- RODRIGUE, Jean-Paul; COMTOIS, Claude; SLACK, Brian. *The Geography of Transport Systems*. 5. ed. New York: Routledge, 2020.
- SLACK, Nigel; CHAMBERS, Stuart; JOHNSTON, Robert. *Administração da Produção*. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2010.
- UNCTAD – United Nations Conference on Trade and Development. *Review of Maritime Transport 2021*. Geneva: UNCTAD, 2021.