

MELHORIA DA EFICIÊNCIA DE HOSPITAIS PÚBLICOS BRASILEIROS: UMA APLICAÇÃO DA ABORDAGEM LEAN-DEA

Samuel Martins Drei. Universidade Federal de Ouro Preto - UFOP.

Samuel.drei@ufop.edu.br

Lidia Ângulo-Meza. Universidade Federal Fluminense – UFF.

lidiaangulomeza@id.uff.br

RESUMO

A integração do Lean Healthcare (LH) com a Análise Envoltória de Dados (DEA) oferece potencial significativo para aprimorar a eficiência hospitalar, contudo, abordagens metodológicas robustas que unifiquem ambas ainda são limitadas na literatura. Este estudo tem como objetivo aplicar uma abordagem Lean-DEA integrada de quatro estágios em hospitais públicos brasileiros, visando a melhoria de processos e o aumento da eficiência. Para tanto, utiliza-se um novo conjunto de variáveis (Repasse Financeiro do SUS, Número de Leitos de UTI como inputs; Número de Procedimentos de Alta Complexidade como output) e parâmetros (modelo SBM-DEA com orientação a outputs e Retornos Constantes de Escala). A metodologia compreende: (1) Construção de Perfis Hospitalares Lean; (2) Avaliação inicial da eficiência; (3) Refinamento da análise com o cálculo de DMUs Ideais, utilizando o Ajuste Ideal Lean-DEA com limiar de 50%; e (4) Geração de direcionamentos estratégicos baseados nos benchmarks. A aplicação em 30 DMUs (representando 16 hospitais) demonstrou a adaptabilidade da abordagem, resultando em uma análise contextualizada da eficiência e na formulação de recomendações customizadas para as unidades ineficientes, considerando suas experiências prévias e as melhores práticas identificadas.

Palavras-chave: Lean Healthcare; Análise Envoltória de Dados (DEA); Eficiência Hospitalar; Hospitais públicos; Abordagem Lean-DEA

Data de recebimento: 11/12/2025

Data do aceite de publicação: 30/12/2025

Data da publicação: 30/12/2025

IMPROVING THE EFFICIENCY OF BRAZILIAN PUBLIC HOSPITALS: AN APPLICATION OF THE LEAN-DEA APPROACH

ABSTRACT

The integration of Lean Healthcare (LH) with Data Envelopment Analysis (DEA) offers significant potential for enhancing hospital efficiency, yet robust methodological approaches unifying both remain limited in the literature. This study aims to apply an integrated four-stage Lean-DEA approach in Brazilian public hospitals, targeting process improvement and efficiency gains. For this purpose, a new set of variables (SUS Financial Transfer, Number of ICU Beds as inputs; Number of High-Complexity Procedures as output) and parameters (SBM-DEA model with output orientation and Constant Returns to Scale) are employed. The methodology comprises: (1) Construction of Lean Hospital Profiles; (2) Initial efficiency assessment; (3) Analysis refinement through the calculation of Ideal DMUs, using the Ideal Lean-DEA Adjustment with a 50% threshold; and (4) Generation of strategic guidance based on benchmarks. The application to 30 DMUs (representing 16 hospitals) demonstrated the approach's adaptability, resulting in a contextualized efficiency analysis and the formulation of customized recommendations for inefficient units, considering their prior experiences and the identified best practices.

Keywords: Lean Healthcare; Data Envelopment Analysis (DEA); Hospital Efficiency; Public Hospitals; Lean-DEA Approach

1 INTRODUÇÃO

Os princípios da Manufatura Enxuta (Lean Manufacturing), focados na eliminação de desperdícios sem comprometer a qualidade (Womack et al., 2007), foram adaptados com sucesso para o Lean Healthcare (LH). Essa transição foi impulsionada pela necessidade de gerir os custos crescentes na saúde e, simultaneamente, melhorar o cuidado ao paciente (Cóllden et al., 2017), tornando os hospitais um ambiente propício para a implementação Lean devido à sua complexidade e restrições de recursos (Raimundo et al., 2014).

Um desafio fundamental é a medição objetiva do desempenho. A Análise Envoltória de Dados (DEA) é uma proeminente técnica não paramétrica que avalia a eficiência relativa de Unidades Tomadoras de Decisão (DMUs), como hospitais (Charnes et al., 1978). A sua capacidade de lidar com múltiplos inputs e outputs para estabelecer benchmarks alinha-se conceitualmente com o objetivo do LH de identificar as melhores práticas (Radnor, 2010).

Enquanto o LH fornece uma estrutura qualitativa para a melhoria, a DEA oferece uma metodologia quantitativa. A sinergia entre ambas permite que a DEA identifique ineficiências e que o LH forneça as ferramentas práticas para as corrigir. Apesar disso, a literatura que explora uma integração metodológica profunda entre LH e DEA é limitada, sendo frequentemente relegada a simples análises de antes e depois da implementação.

Um estudo (Martins Drei; Angulo-Meza, 2025) propôs uma integração fundamental entre LH e DEA por meio de uma abordagem de dois estágios que, embora pioneira, representava um arcabouço inicial e rudimentar para análise. Esse trabalho destacou o potencial da combinação

das metodologias, mas também revelou a necessidade de um modelo mais estruturado e abrangente para orientar eficazmente as melhorias hospitalares.

Para suprir tais limitações, este estudo adota e aplica uma abordagem Lean-DEA mais avançada, de quatro estágios (Drei; Angulo-Meza, 2025), projetada para melhorar sistematicamente os processos e a eficiência hospitalar. Essa estrutura aprimorada introduz um método inovador para criar DMUs ideais especificamente adaptadas ao contexto da saúde, garantindo que as metas de melhoria sejam ambiciosas e realisticamente atingíveis, fomentando assim uma cultura sustentável de melhoria contínua – contudo, o estudo carece de uma aplicação prática.

Portanto, o objetivo do presente estudo é conduzir uma aplicação prática desta abordagem Lean-DEA de quatro estágios já estabelecida em um conjunto de hospitais públicos brasileiros, a fim de validar e explorar ainda mais suas capacidades de aprimoramento de processos.

Esta pesquisa introduz novas dimensões aos estudos originais: (i) utiliza novos inputs e outputs para avaliar o desempenho sob uma perspectiva alternativa; (ii) emprega um modelo de Retornos Constantes de Escala (CRS) para observar como os hospitais se comportam sob essa premissa distinta; (iii) a análise é expandida para um conjunto maior e inteiramente novo de DMUs hospitalares, testando a robustez e a generalização da abordagem em um cenário diferente e mais extenso; e (iv) incorpora mais de um hospital que ainda não implementou o LH, permitindo uma avaliação mais aprofundada da eficácia da abordagem para orientar os estágios iniciais de uma jornada Lean.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Aplicações do Lean Healthcare

O Lean Healthcare (LH) representa a adaptação da filosofia e dos princípios do Lean Manufacturing ao setor da saúde. Sua essência consiste em melhorar continuamente os processos para maximizar o valor entregue ao paciente, ao mesmo tempo em que se eliminam sistematicamente os desperdícios. A transição da manufatura para os serviços de saúde exigiu adaptações, principalmente devido à natureza intangível do "produto" final e à necessidade de contato direto com o cliente (paciente). No contexto hospitalar, o valor é frequentemente definido pelas seis dimensões do cuidado do Instituto de Medicina dos Estados Unidos: seguro, eficiente, eficaz, ágil, centrado no paciente e justo. Qualquer atividade que não contribua para essas dimensões é considerada um desperdício.

A exemplo, a metodologia tem sido usada para otimizar o agendamento de procedimentos cirúrgicos em maternidades, melhorar o fluxo em centros de quimioterapia ambulatorial e aumentar a eficiência de departamentos de urologia (Paim et al., 2016; Coelho et al., 2015; Boronat et al., 2018). Outras pesquisas demonstram o impacto do LH na redução do tempo de resposta em laboratórios clínicos e na gestão da mobilidade em clínicas médicas, evidenciando a versatilidade da abordagem para diferentes áreas hospitalares (Gupta et al., 2018; Drei; Ignácio, 2024).

Apesar do sucesso em projetos pontuais, a literatura aponta uma tendência de implementações do LH em "bolsões de melhores práticas", ou seja, projetos de escopo limitado e executados de forma isolada, sem uma conexão direta com o planejamento estratégico da organização (Radnor, 2010; Burgess; Radnor, 2013). Essa abordagem fragmentada, embora gere melhorias locais, muitas vezes falha em transformar a cultura organizacional e sustentar os ganhos a longo prazo.

Em contrapartida, as aplicações sistemáticas do Lean Healthcare surgem como um modelo mais robusto e eficaz. Essa abordagem se caracteriza pela implementação estruturada do Lean, articulando práticas, ferramentas e etapas que estão alinhadas ao planejamento estratégico institucional.

Estudos de caso demonstram que uma abordagem sistêmica gera impactos mais profundos e duradouros. Ben-Tovim et al. (2008), por exemplo, descrevem um programa de redesenho completo dos processos de atendimento em um hospital australiano que resultou em melhorias substanciais na segurança e acessibilidade dos serviços. Da mesma forma, Costa et al. (2017) avaliaram a implementação sistemática do LH em hospitais brasileiros, destacando ganhos financeiros, aumento de produtividade e ampliação da capacidade operacional.

Outros exemplos de aplicação sistemática incluem a proposta de roteiros de implementação em clínicas médicas, o desenvolvimento de metodologias orientadas para a prática em operações hospitalares e a estruturação de programas intensivos de melhoria focados em processos críticos, como a internação (Drei; De Arruda Ignácio, 2022; Régis et al., 2019; Carter et al., 2012).

O que diferencia essas abordagens é a ênfase não apenas na aplicação de ferramentas, mas na transformação cultural, no engajamento dos colaboradores em todos os níveis e na criação de um sistema de aprendizado voltado para a melhoria contínua. A implementação sistêmica, portanto, é fundamental para que o Lean Healthcare transcenda melhorias pontuais e se torne uma filosofia de gestão integrada, capaz de gerar valor sustentável para pacientes, profissionais e para a organização como um todo.

2.2 DEA na saúde

A Análise Envoltória de Dados (DEA), introduzida por Charnes et al. (1978), é uma técnica não paramétrica baseada em programação linear para mensurar a eficiência relativa de um conjunto de unidades tomadoras de decisão (DMUs). A principal característica da DEA é sua capacidade de lidar com múltiplos insumos (recursos, inputs) e múltiplos produtos (outputs) simultaneamente, sem a necessidade de atribuir pesos arbitrários a eles.

A metodologia constrói uma "fronteira de eficiência" com base nas unidades de melhor desempenho (os benchmarks), e a eficiência das demais unidades é calculada em relação a essa fronteira. Para as unidades consideradas ineficientes, a DEA não apenas fornece um índice de eficiência, mas também projeta metas de melhoria, indicando as reduções de inputs ou os aumentos de outputs necessários para que se tornem eficientes (Cooper et al., 2011).

O setor da saúde, especialmente o ambiente hospitalar, é um campo vasto e vantajoso para a aplicação da DEA. Isso se deve à complexidade de seus processos, à multiplicidade de recursos utilizados (médicos, leitos, equipamentos, verbas) e aos diversos resultados gerados (consultas, cirurgias, internações, exames) (Drei; Angulo-Meza, 2023). A necessidade de aprimorar o uso de recursos, uma preocupação central em sistemas de saúde, principalmente em países que enfrentam financiamento limitado, torna a avaliação da eficiência uma prioridade (Organização Mundial de Saúde, 2022).

A literatura sobre a aplicação de DEA na saúde é ampla, com estudos que remontam à década de 1980. Aplicações iniciais focavam em medir a eficiência de serviços de enfermagem e casas de repouso (Nunamaker, 1983; Sexton et al., 1989). Desde então, sua utilização se diversificou, abrangendo desde a avaliação de hospitais públicos em diferentes regiões e países até a análise de programas específicos, como o setor de saúde suplementar e a gestão de serviços odontológicos no Brasil (Fernandes et al., 2007; Quariguasi Frota Neto; Angulo-Meza, 2007).

Mais recentemente, a metodologia tem sido amplamente empregada para analisar a resposta dos sistemas de saúde a crises, como a pandemia de Covid-19, avaliando a eficiência dos estados e nações na gestão de recursos para vacinação e tratamento (Revuelta et al., 2021; Mariano et al., 2021; Souza et al., 2022).

Estudos focados no cenário brasileiro frequentemente utilizam inputs como o número de leitos, quantidade de funcionários, tempo médio de internação e o valor do capital recebido, enquanto os outputs comumente incluem o número de internações, cirurgias, exames e, em alguns casos, indicadores de qualidade (Soares; Pereira; Milagre, 2017; Souza; Scatena; Kehrig, 2017). Essa flexibilidade demonstra a capacidade da DEA de se adaptar a diferentes contextos e objetivos, fornecendo um diagnóstico quantitativo robusto que pode orientar gestores na tomada de decisões e no planejamento de melhorias.

2.3 A literatura de DEA e Lean Healthcare

A literatura que explora a integração entre Análise Envoltória de Dados (DEA) e Lean Healthcare (LH) é notavelmente escassa. Um levantamento bibliométrico sistemático conduzido por Drei e Angulo-Meza (2025a) revelou que, diferentemente da interação entre DEA e Lean Manufacturing, a associação no setor da saúde é bem menos desenvolvida. A pesquisa identificou apenas três trabalhos relevantes que combinavam as duas abordagens, e nenhum deles propunha uma integração metodológica profunda.

Os estudos pioneiros, em sua maioria, utilizam a DEA como uma ferramenta de avaliação post-hoc, ou seja, para medir a eficiência antes e depois de uma intervenção Lean, sem oferecer um guia para a implementação em si. Lent et al. (2012), por exemplo, investigaram a logística de pacientes em hospitais holandeses e mencionaram a DEA como uma das ferramentas usadas para avaliar os efeitos das melhorias, mas sem uma integração direta com o LH.

De forma similar, Ngee-Wen et al. (2020) aplicaram o modelo SBM-DEA para avaliar o impacto do Lean em departamentos de emergência, concluindo que a DEA é uma ferramenta complementar útil, mas sua aplicação se deu apenas após a finalização das iniciativas de melhoria. A principal limitação dessas abordagens é que elas não auxiliam na tomada de decisão durante o processo Lean, nem garantem que as melhorias nos processos se traduzam, de fato, em um aumento da eficiência relativa.

Para preencher essa lacuna, estudos mais recentes começaram a propor abordagens mais estruturadas. Martins Drei e Angulo-Meza (2025) apresentaram um arcabouço inicial de dois estágios, propondo uma primeira forma de unificar as metodologias. Embora pioneiro, o modelo era rudimentar e destacou a necessidade de um framework mais completo.

A evolução dessa linha de pesquisa culminou na abordagem Lean-DEA de quatro estágios proposta por Drei e Angulo-Meza (2025), que será aplicada neste trabalho. Essa metodologia avançada foi projetada para sistematicamente guiar os hospitais, desde a caracterização e diagnóstico inicial (Etapas 1 e 2) até a projeção de metas realistas com DMUs Ideais e a recomendação de melhores práticas baseadas nos benchmarks (Etapas 3 e 4). Essa abordagem representa o estado da arte na integração entre DEA e LH, pois não apenas mede a eficiência, mas a utiliza ativamente para orientar a melhoria contínua, criando uma sinergia que era ausente nos trabalhos anteriores.

3 METODOLOGIA

A abordagem desenvolvida, denominada Abordagem Lean-DEA, está estruturada em quatro estágios sequenciais, cada um com objetivos específicos para garantir uma implementação

sistemática. Este framework guia os hospitais em direção à melhoria da eficiência, integrando os princípios do Lean Healthcare (LH) com a Análise Envoltória de Dados (DEA), como apresenta a Figura 1 (Drei; Angulo-Meza, 2025).

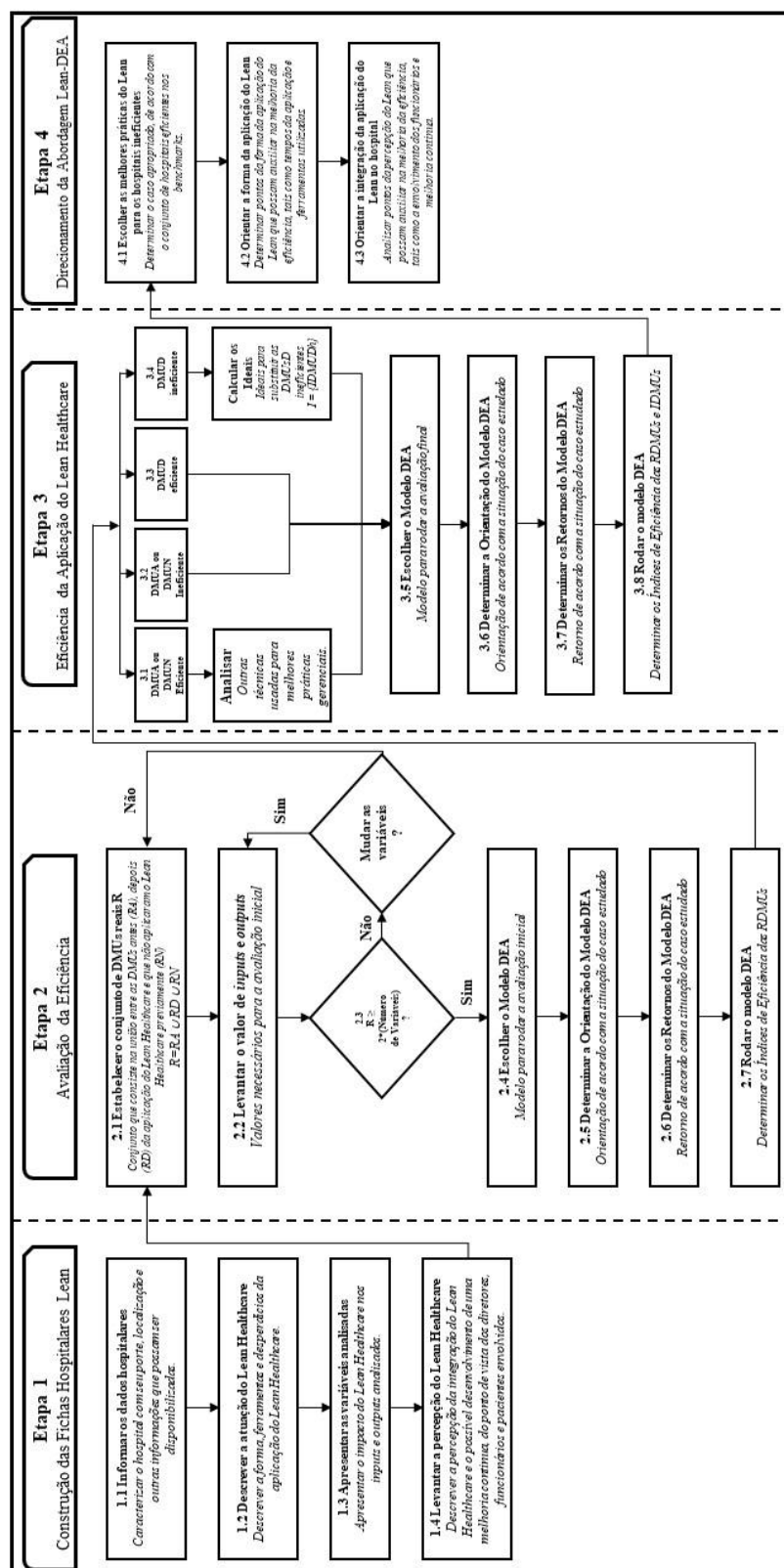
3.1 Etapa 1: Desenvolvimento dos perfis hospitalares Lean

A primeira etapa foca em capturar um perfil abrangente de cada hospital. Este processo é estruturado em quatro passos para coletar dados qualitativos e quantitativos essenciais que irão informar a etapa final de direcionamento.

- **Passo 1.1 (Fornecer Dados do Hospital):** As características gerais do hospital são descritas, como porte, localização e natureza (pública ou privada). Para hospitais que ainda não implementaram o LH, este é o único passo obrigatório nesta etapa.
- **Passo 1.2 (Descrever a Implementação do LH):** A intervenção Lean é detalhada, cobrindo as ferramentas utilizadas, os desperdícios identificados, a duração da implementação, o período de adaptação da equipe e os departamentos envolvidos.
- **Passo 1.3 (Apresentar Variáveis Analisadas):** As variáveis de desempenho que serão usadas como *inputs* e *outputs* na DEA são apresentadas, destacando as mudanças resultantes da implementação do LH, preferencialmente com evidências gráficas.
- **Passo 1.4 (Avaliar a Percepção do LH):** É coletado o feedback qualitativo dos principais *stakeholders* do hospital (diretores, funcionários e pacientes) para analisar o impacto percebido na cultura organizacional e identificar se uma mentalidade de melhoria contínua foi estabelecida.

Figura 1 – Abordagem Lean-DEA

MELHORIA DA EFICIÊNCIA DE HOSPITAIS PÚBLICOS BRASILEIROS: UMA APLICAÇÃO DA ABORDAGEM LEAN-DEA



Fonte: Drei e Angulo-Meza (2025).

3.2 Etapa 2: Avaliação da Eficiência

A segunda etapa fornece uma visão geral inicial da eficiência. O objetivo é executar um modelo DEA preliminar para classificar quais hospitais se tornaram eficientes após a implementação do LH e quais não, estabelecendo assim um conjunto inicial de *benchmarks*.

- Passo 2.1 (Estabelecer as DMUs): O conjunto de Unidades Tomadoras de Decisão (DMUs) é definido, representando os hospitais reais em análise. Eles são categorizados em três subgrupos: antes da implementação do LH (RA), após a implementação (RD) e hospitais não-Lean (RN).
- Passo 2.2 (Coletar Inputs e Outputs): Os valores para as variáveis de *input* e *output*, previamente apresentados nos perfis hospitalares, são coletados para a análise inicial.
- Passo 2.3 (Verificar Variáveis): A "regra de ouro" da DEA é verificada para garantir que o número de DMUs seja suficiente em relação ao número de variáveis, assegurando a robustez do modelo.
- Passos 2.4 a 2.7 (Selecionar e Executar o Modelo DEA): Um modelo DEA apropriado, orientação (ex: a *inputs* ou *outputs*) e pressuposto de retornos de escala (ex: CRS ou VRS) são selecionados com base no contexto do estudo. O modelo é então executado para determinar os escores de eficiência iniciais de todas as DMUs.

3.3 Etapa 3: Eficiência da aplicação do Lean Healthcare

A terceira etapa refina a análise, criando um conjunto mais robusto de *benchmarks*. Isso é alcançado projetando hospitais ineficientes na fronteira de eficiência, permitindo que suas práticas Lean bem-sucedidas sejam consideradas como referência.

- **Passos 3.1 a 3.3 (Classificar as DMUs):** Os resultados da Etapa 2 são classificados. Hospitais eficientes (antes e depois do LH) e hospitais ineficientes pré-LH são mantidos na análise.
- **Passo 3.4 (Calcular DMUs Ideais):** Para hospitais que permaneceram ineficientes mesmo após implementarem o LH, são calculadas DMUs Ideais (IDMUs). Essa abordagem projeta esses hospitais na fronteira de eficiência, garantindo que se tornem *benchmarks* extremo-eficientes, preservando as características gerenciais de sua implementação original do LH.
- **Passos 3.5 a 3.8 (Selecionar e Reexecutar o Modelo DEA):** Uma nova análise DEA é conduzida, agora incluindo as IDMUs recém-criadas. Os parâmetros do modelo são mantidos por consistência, e os escores de eficiência finais e um novo conjunto, mais abrangente, de *benchmarks* são determinados.

3.4 Etapa 4: Direcionamento da Abordagem Lean-DEA

A etapa final sintetiza os resultados para fornecer recomendações concretas e acionáveis para os hospitais ineficientes. Este passo utiliza o conjunto final de *benchmarks* da Etapa 3 para oferecer orientação personalizada, com base na experiência prévia de cada hospital com o Lean. A orientação é dividida em cinco casos distintos (c1-c5), categorizados em dois cenários principais.

Cenário 1: Para um hospital que não aplicou o Lean previamente. O direcionamento para um hospital que está iniciando sua jornada Lean depende da natureza dos *benchmarks* identificados na análise DEA:

- **Caso c1:** Se o *benchmark* for uma **DMU Real** (um hospital existente e eficiente), a recomendação é adotar as ferramentas Lean que foram utilizadas com sucesso por esse hospital de referência.
- **Caso c2:** Se o *benchmark* for uma **DMU Ideal**, a orientação é usar as ferramentas Lean do hospital real original que foi usado para gerar essa projeção ideal.
- **Caso c3:** Se o conjunto de referência contiver tanto uma **DMU Real quanto uma DMU Ideal**, a abordagem sugere uma estratégia híbrida: utilizar as ferramentas Lean de ambos os referenciais para criar um plano de melhoria mais robusto.

Cenário 2: Para um hospital que aplicou Lean, mas não se tornou eficiente. Para hospitais com experiência prévia, as recomendações focam em refinar e expandir suas práticas Lean existentes:

- **Caso c4:** Se o único *benchmark* do hospital for sua **própria DMU Ideal**, isso indica que seu conjunto atual de ferramentas é apropriado, mas precisa de uma melhor implementação. A recomendação é, portanto, **reaplicar as ferramentas Lean utilizadas inicialmente**, focando em aprofundar sua aplicação.
- **Caso c5:** Se os *benchmarks* incluem a **própria DMU Ideal e outra DMU** (real ou ideal), a orientação é aumentar a estratégia existente. O hospital deve **adicionar as ferramentas Lean utilizadas pelo benchmark adicional** ao seu conjunto inicial, permitindo que a unidade construa sobre sua base enquanto incorpora novas práticas comprovadas.

3.5 Aspectos práticos da aplicação proposta

Para a aplicação prática da abordagem Lean-DEA neste estudo, foram definidos os seguintes parâmetros específicos:

- **DMUs (Passo 2.1):** A análise será conduzida em um conjunto de 30 DMUs representando hospitais públicos brasileiros. Destas, 14 hospitais implementaram o LH, gerando 28 DMUs (valores antes e depois da implementação), e 2 hospitais ainda não haviam implementado o LH no período da análise.
- **Variáveis (Passo 2.2):** O modelo utilizará 2 inputs e 1 output.
 - **Input(s):**
 - **I1: Repasse Financeiro do SUS:** Selecionado por representar o investimento financeiro total – ou boa parte, em um hospital público. Um hospital eficiente maximiza os resultados obtidos a partir deste recurso. A redução de desperdícios promovida pelo LH impacta diretamente este indicador;
 - **I2: Número de Leitos de UTI:** Escolhido por ser um recurso físico crítico, de alto valor e diretamente ligado à capacidade de prestar cuidados de alta qualidade e complexidade. O LH frequentemente otimiza o fluxo em UTIs, melhorando a utilização deste recurso.
 - **Output(s):**
 - **O1: Número de Procedimentos de Alta Complexidade (PAC) Realizados:** Selecionado por representar um resultado de alto valor agregado, que demanda uso intensivo dos *inputs* (custo e leitos de UTI). Um hospital mais eficiente realiza mais PACs com os mesmos recursos. Melhorias de fluxo via LH impactam positivamente a capacidade de realizar esses procedimentos. Esta variável já foi utilizada em estudos anteriores.

- **Modelo DEA (Passos 2.4-2.6):** O modelo **SBM-DEA (Slack-Based Measure)** foi selecionado devido à sua capacidade de lidar diretamente com excessos de inputs e faltas de outputs (Tone, 2001), o que se alinha com a identificação de desperdícios no LH. O modelo será executado com uma orientação a outputs. Essa escolha se justifica, pois, as intervenções LH, neste contexto específico, têm maior probabilidade de impactar a capacidade de produzir mais outputs (PACs) do que de reduzir diretamente os inputs selecionados (Repasse e Leitos de UTI). Além disso, do ponto de vista prático da gestão hospitalar pública, não se deseja reduzir o financiamento ou a capacidade instalada de leitos críticos; o objetivo é maximizar o resultado obtido com esses recursos. Finalmente, adotou-se o pressuposto de Retornos Constantes de Escala (CRS) para esta aplicação específica, permitindo uma comparação direta da eficiência produtiva entre os hospitais, independentemente de suas escalas operacionais.
- **Ajuste Ideal Lean-DEA (Passo 3.4):** Para criar metas realistas e alinhadas à filosofia de melhoria contínua, o Ajuste Ideal Lean-DEA será utilizado no cálculo das IDMUs para hospitais ineficientes pós-LH. Um limiar de 50% será aplicado, conforme justificado em Drei e Angulo-Meza (2025c), utilizando o Ajuste Ideal Lean-DEA.

4 DESENVOLVIMENTO

4.1 Primeira etapa da Abordagem Lean-DEA

A Tabela 1 apresenta a caracterização detalhada das 16 unidades hospitalares incluídas neste estudo, resumindo a construção dos Perfis Hospitalares Lean da abordagem Lean-DEA, devido a questões de tamanho para a presente pesquisa.

Esta etapa é fundamental para contextualizar cada DMU, documentar as especificidades das implementações de Lean Healthcare (LH) realizadas e coletar dados qualitativos e quantitativos que subsidiarão as análises subsequentes.

Portanto, Hospital ID é relativo ao código identificador para cada hospital (H1 a H16), enquanto Status LH classifica cada hospital quanto à aplicação prévia de metodologias LH ('Aplicado' para H1-H14; 'Não Aplicado' para H15-H16). Esta distinção é essencial para a análise comparativa.

O porte, por sua vez, categoriza o hospital (Pequeno, Médio, Grande), usualmente baseada em métricas como número de leitos. O porte pode influenciar a complexidade da implementação LH e a comparabilidade via DEA. Em adição, a duração da Implementação LH é o período total (em meses) dedicado ao projeto de implementação Lean, indicando a extensão temporal da intervenção.

O Período Adaptação Equipe indica a existência ('Sim') ou ausência ('Não') de um período formalmente dedicado à adaptação da equipe às novas práticas antes da mensuração final dos resultados. Já a integração dos Trabalhadores Operacionais avalia o nível de participação ativa ('Sim' ou 'Não') dos profissionais da linha de frente no diagnóstico, planejamento e implementação das mudanças.

A coluna de desperdícios focados enumera os principais tipos de desperdícios (segundo a taxonomia Lean adaptada à saúde) que foram alvo prioritário da intervenção LH e as ferramentas Lean utilizadas especifica as ferramentas Lean empregadas nesses desperdícios. As alas Envolvidas são as áreas ou departamentos específicos do hospital onde a implementação do LH ocorreu.

MELHORIA DA EFICIÊNCIA DE HOSPITAIS PÚBLICOS BRASILEIROS: UMA APLICAÇÃO DA ABORDAGEM LEAN-DEA

Tabela 1 – Descritivo do conjunto de hospitais em análise

Hospital ID	Status LH	Porte	Duração Implementação LH	Período Adaptação Equipe	Integração Trabalhadores Operacionais	Desperdícios	Ferramentas Lean Utilizadas	Percepção LH (Resumo)	Impacto LH no Output (%)
H1	Aplicado	Grande	5 meses	Sim (1 mês)	Sim	Espera, Movimentação	5S, Kanban, Poka-Yoke	Positivo, Cultura Lean em desenvolvimento	+15%
H2	Aplicado	Médio	4 meses	Não (Simultâneo)	Não	Espera, Retrabalho	VSM, PDCA, 5S	Moderado, Engajamento limitado da equipe	+8%
H3	Aplicado	Pequeno	6 meses	Sim (1 mês)	Sim	Espera	5S, PTP (Trabalho Padronizado)	Muito Positivo, Forte Cultura Lean	+18%
H4	Aplicado	Médio	4 meses	Não (Simultâneo)	Não	Movimentação, Defeitos	Checklist, Kanban	Ganhos pontuais, Cultura incipiente	+7%
H5	Aplicado	Grande	7 meses	Sim (2 meses)	Sim	Espera, Superprocessamento	VSM, 5S, PDCA	Positivo, Boa adesão da equipe	+22%
H6	Aplicado	Pequeno	5 meses	Sim (1 mês)	Sim	Movimentação	5S, Poka-Yoke	Positivo, Melhoria contínua observada	+14%
H7	Aplicado	Médio	6 meses	Sim (1 mês)	Sim	Espera, Estoque	Kanban, 5S	Muito Positivo, Processos otimizados	+20%
H8	Aplicado	Grande	5 meses	Não (Simultâneo)	Não	Retrabalho, Movimentação	Checklist, PTP	Moderado, Resistência inicial da equipe	+10%
H9	Aplicado	Médio	7 meses	Sim (2 meses)	Sim	Espera, Movimentação, Transporte	VSM, 5S, Kanban	Excelente, Cultura Lean consolidada	+25%
H10	Aplicado	Pequeno	4 meses	Não (Simultâneo)	Não	Defeitos, Espera	Poka-Yoke, PTP	Ganhos operacionais, Cultura limitada	+6%
H11	Aplicado	Médio	6 meses	Sim (1 mês)	Sim	Espera	PDCA, 5S	Positivo, Boa colaboração	+19%
H12	Aplicado	Grande	5 meses	Sim (1 mês)	Sim	Movimentação, Superprocessamento	VSM, PTP	Muito Positivo, Foco em qualidade	+16%
H13	Aplicado	Pequeno	7 meses	Sim (2 meses)	Sim	Espera, Retrabalho	Kanban, Checklist, 5S	Excelente, Alto engajamento	+23%
H14	Aplicado	Médio	4 meses	Não (Simultâneo)	Não	Movimentação	5S	Moderado, Resultados iniciais	+9%
H15	Não Aplicado	Médio	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
H16	Não Aplicado	Grande	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A

Finalmente, a percepção do LH sumariza a avaliação qualitativa dos *stakeholders* (gestores, equipe, pacientes) acerca dos resultados da implementação, incluindo efeitos na cultura organizacional e na percepção de melhoria contínua, resultando no impacto LH no Output (%), que apresenta o incremento percentual no output selecionado para este estudo (Número de Procedimentos de Alta Complexidade - PACs) atribuível à implementação do LH.

4.2 Segunda etapa da Abordagem Lean-DEA

Após a caracterização dos hospitais na Etapa 1, a segunda etapa da abordagem Lean-DEA foca em realizar uma avaliação inicial da eficiência relativa de todas as DMUs. O objetivo é obter um panorama preliminar, identificando quais hospitais se destacam em termos de produtividade e quais apresentam maiores oportunidades de melhoria antes de refinar a análise com as DMUs Ideais. Assim, tem-se:

- **Passo 2.1 (Estabelecer DMUs):** Conforme definido na seção 3.5, o conjunto de análise é composto por 30 DMUs. Estas incluem 14 hospitais antes da aplicação do LH (H1a a H14a), os mesmos 14 hospitais depois da aplicação do LH (H1b a H14b) e 2 hospitais que não aplicaram o LH (H15 e H16);
- **Passo 2.2 (Coletar Inputs e Outputs):** Os valores para os dois inputs (I1: Repasse SUS, I2: Leitos UTI) e um output (O1: PACs Realizados), foram coletados para todas as 30 DMUs. Vale destacar que o valor levado em consideração das variáveis foi uma média, analisando o mesmo período de cada hospital, para que houvesse uma simetria entre os dados levantados;
- **Passo 2.3 (Verificar Variáveis):** Com 30 DMUs e 3 variáveis (2 inputs, 1 output), a condição da "regra de ouro" é amplamente satisfeita, garantindo robustez ao modelo DEA;
- **Passos 2.4-2.6 (Selecionar Modelo DEA):** Conforme a seção 3.5, selecionou-se o modelo SBM-DEA com orientação a outputs e Retornos Constantes de Escala (CRS). A orientação a outputs foi escolhida por focar na maximização da produção de PACs, dado que os inputs (Repasse e Leitos UTI) são menos diretamente influenciáveis pelo LH e não desejáveis de serem reduzidos na prática. O CRS foi adotado para uma comparação direta da eficiência produtiva;
- **Passo 2.7 (Executar Modelo DEA):** O modelo SBM-DEA foi executado utilizando o pacote deaR na linguagem R. Os resultados da eficiência relativa para cada DMU nesta etapa inicial são apresentados na Tabela 2.

Conforme a análise prévia (PACs por Leito de UTI e por Repasse), esperava-se que um conjunto específico de hospitais depois da aplicação do LH ('b') formasse a fronteira eficiente. Os resultados confirmam essa expectativa em partes, uma vez que apenas os hospitais H3b, H5b, H7b, H9b, H11b, H13b, H14b são identificados como eficientes (escore = 1.00), representando os possíveis benchmarks dentro deste conjunto de dados.

Já os demais hospitais, incluindo todas as versões 'a' (antes do LH), os hospitais 'b' menos eficientes e os hospitais H15 e H16 (sem LH), foram classificados como ineficientes, com escores variando entre 0.45 e 0.98.

Tabela 2 – Eficiência dos hospitais na segunda etapa Lean-DEA

Hospital ID	Eficiência	Classificação
H1a	0.75	Ineficiente
H1b	0.86	Ineficiente
H2a	0.80	Ineficiente
H2b	0.87	Ineficiente
H3a	0.90	Ineficiente
H3b	1.00	Eficiente
H4a	0.78	Ineficiente
H4b	0.83	Ineficiente
H5a	0.85	Ineficiente
H5b	1.00	Eficiente
H6a	0.88	Ineficiente
H6b	0.95	Ineficiente
H7a	0.92	Ineficiente
H7b	1.00	Eficiente
H8a	0.72	Ineficiente
H8b	0.79	Ineficiente
H9a	0.91	Ineficiente
H9b	1.00	Eficiente
H10a	0.82	Ineficiente
H10b	0.87	Ineficiente
H11a	0.89	Ineficiente
H11b	1.00	Eficiente
H12a	0.81	Ineficiente
H12b	0.93	Ineficiente
H13a	0.95	Ineficiente
H13b	1.00	Eficiente
H14a	0.85	Ineficiente
H14b	1.00	Eficiente
H15	0.80	Ineficiente
H16	0.77	Ineficiente

4.3 Terceira etapa da Abordagem Lean-DEA

Após a avaliação inicial da eficiência na Etapa 2, a terceira etapa da abordagem Lean-DEA refina a análise. O objetivo principal é construir um conjunto final de *benchmarks* robusto, que inclua não apenas os hospitais que se tornaram eficientes naturalmente após a aplicação do LH, mas também projeções ideais daqueles que, embora melhoraram seus processos, ainda não atingiram a fronteira de eficiência. Isso garante que as melhores práticas de todos os hospitais que passaram pela intervenção Lean possam ser consideradas na etapa final de direcionamento. Logo:

- **Passos 3.1 e 3.2 (Classificar DMUs RA e RN):** Analisando os resultados da Tabela 2, todas as DMUs que representam os hospitais antes da aplicação do LH (H1a a H14a) e os hospitais que não aplicaram o LH (H15 e H16) foram classificados como ineficientes na Etapa 2. Conforme as diretrizes dos Passos 3.1 e 3.2, essas 16 DMUs são mantidas no conjunto de análise para a Etapa 3 sem qualquer modificação. Isso preserva a base de comparação e a robustez do modelo;
- **Passo 3.3 (Classificar DMUs RD Eficientes):** Os hospitais que se tornaram eficientes depois da aplicação do LH (versões 'b') na Etapa 2 foram H3b, H5b, H7b, H9b, H11b,

H13b e H14b. De acordo com o Passo 3.3, essas 7 DMUs são mantidas no conjunto de análise sem modificações, pois já representam benchmarks extremo-eficientes;

- **Passo 3.4 (Classificar DMUs RD Ineficientes e Calcular Ideais):** Os hospitais que permaneceram ineficientes na Etapa 2, mesmo depois da aplicação do LH, foram H1b, H2b, H4b, H6b, H8b, H10b e H12b. Conforme o Passo 3.4, para garantir que as melhorias e práticas Lean desses hospitais sejam consideradas como referência potencial, DMUs Ideais (IDMUs) são calculadas para cada uma delas. Utiliza-se para isso o Ajuste Ideal Lean-DEA, com o limiar de 50% e a orientação a outputs, conforme definido na metodologia (Seção 3.5). Essas novas DMUs (denominadas IHD1, IHD2, IHD4, IHD6, IHD8, IHD10, IHD12) são, por construção, extremo-eficientes e substituirão as DMUs originais (H1b, H2b, etc.) no conjunto de análise final. Vale ressaltar que o cálculo dos ideais se faz necessário, pois as DMUs alvos calculados pelo modelo se comportam como fracamente-eficientes e, portanto, não são benchmarks das ineficientes (Drei; Angulo-Meza, 2025c);
- **Passos 3.5-3.7:** Para garantir a consistência e comparabilidade entre as etapas, os mesmos parâmetros do modelo DEA utilizados na Etapa 2 são mantidos: Modelo SBM-DEA, com orientação a outputs e Retornos Constantes de Escala (CRS);
- **Passo 3.8:** O modelo SBM-DEA é então executado com o conjunto final e atualizado de DMUs, que agora inclui:
 - As 14 DMUs 'a' (H1a-H14a).
 - As 2 DMUs não-LH (H15, H16).
 - As 7 DMUs 'b' originalmente eficientes (H3b, H5b, H7b, H9b, H11b, H13b, H14b).
 - As 7 novas IDMUs calculadas (IHD1, IHD2, IHD4, IHD6, IHD8, IHD10, IHD12).

A execução deste modelo na Etapa 3 gera os resultados finais de eficiência e o conjunto definitivo de benchmarks para cada DMU ineficiente (H1a-H14a, H15, H16). O resultado é apresentado pela Tabela 3.

Tabela 3 – Eficiências na terceira etapa da abordagem Lean-DEA

Hospital ID	Eficiência	Classificação	Benchmarks
H1a	0.73	Ineficiente	IHD1, H7b, H9b
IHD1	1.00	Eficiente	-
H2a	0.78	Ineficiente	IHD2, H11b, H14b
IHD2	1.00	Eficiente	-
H3a	0.88	Ineficiente	H3b, H9b
H3b	1.00	Eficiente	-
H4a	0.76	Ineficiente	IHD4, H7b, H11b
IHD4	1.00	Eficiente	-
H5a	0.83	Ineficiente	H5b, H9b
H5b	1.00	Eficiente	-
H6a	0.85	Ineficiente	IHD6, H13b, H14b
IHD6	1.00	Eficiente	-
H7a	0.90	Ineficiente	H7b, H9b
H7b	1.00	Eficiente	-
H8a	0.70	Ineficiente	IHD8, H5b, H7b
IHD8	1.00	Eficiente	-
H9a	0.89	Ineficiente	H9b, H11b
H9b	1.00	Eficiente	-
H10a	0.80	Ineficiente	IHD10, H3b, H13b
IHD10	1.00	Eficiente	-
H11a	0.87	Ineficiente	H11b, H9b
H11b	1.00	Eficiente	-
H12a	0.79	Ineficiente	IHD12, H5b, H9b
IHD12	1.00	Eficiente	-
H13a	0.93	Ineficiente	H13b, H3b
H13b	1.00	Eficiente	-
H14a	0.82	Ineficiente	H14b, H7b, H11b
H14b	1.00	Eficiente	-
H15	0.78	Ineficiente	IHD2, H7b, H11b
H16	0.75	Ineficiente	IHD1, H5b, H9b

4.4 Quarta etapa da Abordagem Lean-DEA

A quarta e última etapa da abordagem Lean-DEA converte os resultados da análise de eficiência em recomendações estratégicas para os hospitais classificados como ineficientes. Conforme o framework metodológico, o direcionamento para estes hospitais ineficientes baseia-se na classificação de cada uma em um dos casos c1 a c5, definidos pela composição de seus benchmarks e sua experiência prévia com LH.

Os hospitais H15 e H16, por não possuírem experiência prévia com LH e terem sido classificados como ineficientes (Tabela 4), enquadram-se no Caso c3. Seus benchmarks incluem tanto DMUs Reais eficientes ('b') quanto DMUs Ideais ('IHD'), indicando a necessidade de aprender com ambos os tipos de referência. As recomendações para a primeira implementação de LH são as seguintes:

- **Hospital H15:**
 - Benchmarks: IHD2, H7b, H11b
 - Análise das Referências:

- H7b (Médio): Implementação de 6 meses, com 1 mês de adaptação e integração da equipe. Foco em Kanban e 5S (Almoxarifado, Farmácia). Percepção muito positiva.
- H11b (Médio): Implementação de 6 meses, com 1 mês de adaptação e integração da equipe. Foco em PDCA e 5S (Emergência). Percepção positiva.
- Origem de IHD2 (H2 - Pequeno): Implementação de 5 meses, com 1 mês de adaptação e integração da equipe. Foco em 5S (Clínica Cirúrgica). Percepção muito positiva.
- Recomendações:
 - Duração e Estratégia: Planejar uma implementação com duração de aproximadamente 6 meses, incluindo pelo menos 1 mês dedicado à adaptação e treinamento da equipe, garantindo a integração dos trabalhadores operacionais desde o início, seguindo o exemplo de H7b, H11b e H2.
 - Ferramentas: Iniciar com ferramentas fundamentais observadas nos benchmarks, como 5S (presente em todos os referenciais) e complementar com Kanban (de H7b) ou PDCA (de H11b), dependendo dos desperdícios prioritários identificados.
 - Alas: Considerando as alas dos benchmarks, áreas como Emergência, Farmácia, ou Clínica Cirúrgica podem ser bons pontos de partida.
- **Hospital H16:**
 - Benchmarks: IHD1, H5b, H9b
 - Análise das Referências
 - H5b (Grande): Implementação de 7 meses, com 2 meses de adaptação e integração da equipe. Foco em VSM, 5S, PDCA (Emergência, UTI, Admissão Geral). Percepção positiva.
 - H9b (Médio): Implementação de 7 meses, com 2 meses de adaptação e integração da equipe. Foco em VSM, 5S, Kanban (Admissão Geral, Transporte de Pacientes). Percepção excelente.
 - Origem de IHD1 (H1 - Grande): Implementação de 4 meses, sem adaptação dedicada e sem integração efetiva da equipe. Foco em 5S, Checklist, Kanban, Poka-Yoke (Clínica Médica, Clínica Cirúrgica, Admissão Geral). Percepção moderada, baixo engajamento.
 - Recomendações:
 - Duração e Estratégia: Dada a complexidade de um hospital de grande porte, planejar uma implementação mais longa, em torno de 7 meses,

similar a H5b e H9b. É crucial evitar o erro de H1 e garantir um período substancial (ex: 2 meses) para adaptação e forte integração dos trabalhadores, como feito por H5b e H9b.

- Ferramentas: Iniciar com ferramentas estruturantes como VSM e 5S (utilizadas por H5b e H9b), complementadas por PDCA (H5b) ou Kanban (H9b), dependendo da necessidade. Ferramentas adicionais de H1 (Checklist, Poka-Yoke) podem ser consideradas em fases posteriores.
- Alas: Áreas de alto fluxo e complexidade como Emergência, Admissão Geral, UTI ou Clínica Cirúrgica, onde os benchmarks atuaram, são candidatas potenciais para o início da implementação.

Estas recomendações oferecem um ponto de partida estruturado para H15 e H16, baseado nas experiências (positivas e negativas) dos hospitais de referência, alinhando a escolha de ferramentas, estratégias de implementação e foco cultural para maximizar as chances de sucesso na adoção inicial do LH.

Em relação aos demais hospitais ineficientes, analisando seus benchmarks, observa-se que todas possuem em seu conjunto de referência a sua própria projeção Ideal (ex: H1a tem IHD1) e pelo menos uma outra DMU eficiente (seja 'b' ou 'IHD'). Portanto, todas estas 7 DMUs se enquadram no Caso c5.

A diretriz para o Caso c5 é adicionar às ferramentas Lean utilizadas inicialmente (representadas pela presença de sua própria IDMU no benchmark) as ferramentas e práticas Lean utilizadas pelas outras DMUs presentes em seu conjunto de referência. Isso significa que a estratégia inicial não deve ser abandonada, mas sim complementada e aprimorada com base nos exemplos de sucesso.

- Hospital 1 (Benchmarks: IHD1, H7b, H9b): A recomendação é manter o foco nas ferramentas iniciais de H1 (5S, Checklist, Kanban, Poka-Yoke - Tabela 1), mas incorporar/aprender com as práticas de H7b (Kanban, 5S) e H9b (VSM, 5S, Kanban). Atenção crucial deve ser dada aos fatores de implementação como integração dos trabalhadores e período de adaptação, que foram pontos fortes de H7b/H9b e fracos na implementação original de H1;
- Hospital 2 (Benchmarks: IHD2, H11b, H14b): Manter o foco na ferramenta inicial de H2 (5S - Tabela 1) e incorporar/aprender com H11b (PDCA, 5S) e H14b (5S). Embora as ferramentas sejam similares (foco forte em 5S), H2 deve observar as estratégias de implementação de H11b, que incluiu período de adaptação e integração da equipe, fatores ausentes em H14b e potencialmente relevantes para aprofundar os ganhos do 5S;
- Hospital 4 (Benchmarks: IHD4, H7b, H11b): Manter o foco em Kanban e PTP (ferramentas de H4 - Tabela 1), mas incorporar/aprender com H7b (Kanban, 5S) e H11b (PDCA, 5S). O engajamento da equipe, identificado como ponto fraco em H4 e forte em H7b/H11b, deve ser um ponto central na nova abordagem, talvez facilitado pela introdução do PDCA para estruturar a melhoria contínua;

- Hospital 6 (Benchmarks: IHD6, H13b, H14b): Manter o foco em PDCA e Kanban (ferramentas de H6) e incorporar/aprender com H13b (Kanban, Checklist, 5S) e H14b (5S). A adição do 5S parece ser um complemento natural. Além disso, H6 deve se inspirar na longa duração da implementação (7 meses) e no forte engajamento promovido por H13b, contrastando com sua própria implementação mais curta e com menor integração;
- Hospital 8 (Benchmarks: IHD8, H5b, H7b): Manter o foco em 5S e Checklist (ferramentas de H8 - Tabela 1) e incorporar/aprender com H5b (VSM, 5S, PDCA) e H7b (Kanban, 5S). A introdução do VSM pode oferecer uma visão mais ampla do fluxo, enquanto o PDCA (de H5b) ou Kanban (de H7b) podem complementar o controle do processo. A implementação original de H8 já era longa e com integração, então o foco deve ser na combinação estratégica de novas ferramentas;
- Hospital 10 (Benchmarks: IHD10, H3b, H13b): Manter o foco em Poka-Yoke e PTP (ferramentas de H10) e incorporar/aprender com H3b (Poka-Yoke, PTP) e H13b (Kanban, Checklist, 5S). H3b valida as ferramentas já usadas, mas sua implementação incluiu período de adaptação e integração, ausentes em H10. H13b sugere a adição de Kanban, Checklist e 5S, além de reforçar a importância de uma implementação mais longa e com alto engajamento;
- Hospital 12 (Benchmarks: IHD12, H5b, H9b): Manter o foco em VSM e PTP (ferramentas de H12 - Tabela 1) e incorporar/aprender com H5b (VSM, 5S, PDCA) e H9b (VSM, 5S, Kanban). A adição do 5S é uma recomendação clara de ambos os benchmarks. A escolha entre PDCA (de H5b) ou Kanban (de H9b) pode depender da natureza dos processos a serem otimizados. Aumentar a duração da implementação para cerca de 7 meses, como H5b e H9b, também é sugerido.

Estas recomendações detalhadas para cada hospital no Caso c5 ilustram como a abordagem Lean-DEA utiliza a combinação de auto-referência (via IDMU) e referência externa (benchmarks adicionais) para construir um plano de melhoria incremental e contextualizado.

5 CONCLUSÕES

O presente estudo teve como objetivo aplicar e validar uma abordagem integrada Lean-DEA de quatro estágios para a melhoria de processos e eficiência em hospitais públicos brasileiros, utilizando um novo conjunto de variáveis e parâmetros. A metodologia demonstrou ser robusta e adaptável, permitindo uma análise contextualizada da eficiência hospitalar e a geração de recomendações estratégicas fundamentadas na sinergia entre Lean Healthcare (LH) e Análise Envolvente de Dados (DEA).

A aplicação da abordagem permitiu, primeiramente, caracterizar detalhadamente os hospitais analisados, incluindo o registro das especificidades das implementações de LH (Etapa 1). Subsequentemente, a avaliação inicial de eficiência (Etapa 2), utilizando Repasse Financeiro do SUS e Leitos de UTI como inputs e Número de PACs como output, identificou um conjunto preliminar de hospitais eficientes. A introdução das DMUs Ideais, calculadas através do Ajuste Ideal Lean-DEA (Etapa 3), foi crucial para refinar a análise, projetando hospitais ineficientes

pós-LH na fronteira e expandindo o conjunto de benchmarks. Finalmente, a Etapa 4 traduziu os resultados da DEA em direcionamentos práticos, oferecendo roteiros de melhoria customizados para os hospitais ineficientes, com base na análise comparativa das práticas Lean dos benchmarks.

A escolha das novas variáveis mostrou-se relevante para avaliar a eficiência sob a ótica da alocação de recursos estratégicos no contexto do SUS. A orientação a outputs e o uso de CRS, juntamente com o modelo SBM-DEA, permitiram focar na maximização da entrega de serviços de alto valor agregado com os recursos disponíveis. A aplicação do Ajuste Ideal Lean-DEA reforçou a praticidade da abordagem, gerando metas de melhoria que são simultaneamente desafiadoras e realistas.

Como trabalhos futuros, recomenda-se a exploração de novas variações da própria abordagem Lean-DEA. Isso poderia incluir o refinamento do cálculo das DMUs Ideais, a incorporação de diferentes modelos DEA (como modelos de rede ou que considerem outputs indesejáveis) ou a adaptação das etapas para contextos específicos.

Adicionalmente, sugere-se a implementação e análise de outras técnicas e ferramentas Lean dentro do framework de quatro estágios existente. Investigar como diferentes conjuntos de ferramentas Lean ou diferentes indicadores de desempenho (variáveis de input/output focadas em qualidade, segurança do paciente ou satisfação) se comportam dentro da estrutura Lean-DEA pode gerar insights valiosos sobre a versatilidade e os limites da abordagem. Tais estudos contribuirão para a consolidação da integração entre LH e DEA como uma ferramenta poderosa para a gestão e melhoria contínua dos sistemas de saúde.

REFERÊNCIAS

Ben-Tovim, D. I., Bassham, J. E., Bolch, D., Martin, M. A., Dougherty, M., & Szwarcbord, M. (2008). Lean thinking across a hospital: Redesigning care at the Flinders Medical Centre. *Australian Health Review*, 31(1), 10–15.

Boronat, F., Budia, A., Broseta, E., Ruiz-Cerdá, J. L., & Vivas-Consuelo, D. (2018). Application of Lean Healthcare methodology in a urology department of a tertiary hospital as a tool for improving efficiency. *Actas Urológicas Españolas (English Edition)*, 42(1), 42–48.

Burgess, N., & Radnor, Z. (2013). Evaluating Lean in healthcare. *International Journal of Health Care Quality Assurance*, 26(3), 220–235.

Carter, P. M., Desmond, J. S., Akanbobnaab, C., Oteng, R. A., Rominski, S. D., Barsan, W. G., & Cunningham, R. M. (2012). Optimizing clinical operations as part of a global emergency medicine initiative in Kumasi, Ghana: Application of Lean manufacturing principals to low-resource health systems. *Academic Emergency Medicine*, 19(3), 338–347.

Charnes, A., Cooper, W. W., & Rhodes, E. (1978). Measuring the efficiency of decision making units. *European Journal of Operational Research*, 2(6), 429–444.

Coelho, S. M., Pinto, C. F., Silva, V. J., & Marotta, A. C. (2015). Lean healthcare: Process improvement in a cancer outpatient chemotherapy unit. *Journal of Innovation and Healthcare Management*, 1(1), 1–9.

- Cóllden, C., Gremyr, I., & Hellström, A. (2017). A value-based taxonomy of improvement approaches in healthcare. *Journal of Health Organization and Management*, 31(4), 445–458.
- Cooper, W. W., Seiford, L. M., & Zhu, J. (Eds.). (2011). *Handbook on data envelopment analysis*. Springer.
- Costa, L. B. M., Godinho Filho, M., Rentes, A. F., Bertani, T. M., & Mardegan, R. (2017). Lean Healthcare in developing countries: Evidence from Brazilian hospitals. *The International Journal of Health Planning and Management*, 32(1), e99–e120.
- Drei, S. M., & Angulo-Meza, L. (2023). Data Envelopment Analysis (DEA) in health: A literary review of Latin America. *Multidisciplinary Reviews*, 6(2), 2023011.
- Drei, S. M., & Angulo-Meza, L. (2025a). Data envelopment analysis (DEA) applied with distinct approaches: A bibliometric survey in association with Lean Manufacturing and Lean Healthcare. *Multidisciplinary Reviews*, 8(4), e2025123.
- Drei, S. M., & Angulo-Meza, L. (2025b). The Lean-DEA Approach: Enhancing the Efficiency of Hospital Processes. In *Anais do 57º Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional*. Gramado.
- Drei, S. M., & Angulo-Meza, L. (2025c). A Lean-DEA approach for continuous improvement in Brazilian public hospitals. *Journal of Health Organization and Management*, 1–25. [Advance online publication].
- Drei, S. M., & Ignácio, P. S. A. (2022). Lean Healthcare applied systematically in a medium-sized medical clinic hospitalization. *Journal of Health Organization and Management*, 36(5), 666–689.
- Drei, S. M., & Ignácio, P. S. D. A. (2024). Lean Healthcare systematically applied to improve mobility accessibility in the medical clinic of a medium-sized hospital. *Production*, 34, e20230063.
- Entani, T., & Tanaka, H. (2006). Improvement of efficiency intervals based on DEA by adjusting inputs and outputs. *European Journal of Operational Research*, 172(3), 1004–1017.
- Fernandes, E., Pires, A., Giralddi, A., & Sampaio, L. M. B. (2007). An analysis of the supplementary health sector in Brazil. *Health Policy*.
- Graban, M. (2018). *Lean hospitals: Improving quality, patient safety, and employee engagement*. Productivity Press.
- Gupta, S., Kapil, S., & Sharma, M. (2018). Improvement of laboratory turnaround time using Lean methodology. *International Journal of Health Care Quality Assurance*, 31(4), 295–308.
- van Lent, W. A. M., Sanders, E. M., & van Harten, W. H. (2012). Exploring improvements in patient logistics in Dutch hospitals with a survey. *BMC Health Services Research*, 12, 1–9.
- Mariano, E. B., Torres, B. G., de Almeida, M. R., Ferraz, D., Rebelatto, D. A. N., & de Mello, J. C. C. B. S. (2021). Brazilian states in the context of COVID-19 pandemic: An index proposition using Network Data Envelopment Analysis. *IEEE Latin America Transactions*, 19(6), 917–924.

- Ngee-Wen, T., Zailani, S., Aziz, A. A., & Ahmad, N. (2020). Lean public emergency department efficiency evaluation by slack-based measure data envelopment analysis. *Malaysian Journal of Medicine & Health Sciences*, 16(2).
- Nunamaker, T. R. (1983). Measuring routine nursing service efficiency: A comparison of cost per patient day and data envelopment analysis models. *Health Services Research*, 18(2 Pt 1), 183.
- Organização Mundial de Saúde. (2022). *OMS divulga novas estatísticas mundiais de saúde*. World Health Statistics.
- Paim, R., Costa, L., de Carvalho, T., & Costa Lima, E. (2016). Lean Healthcare application in a surgical procedure's appointment scheduling center in a maternity. *Brazilian Journal of Operations & Production Management*, 13(4), 452–461.
- Quariguasi Frota Neto, J., & Angulo-Meza, L. (2007). Alternative targets for data envelopment analysis through multi-objective linear programming: Rio de Janeiro Odontological Public Health System Case Study. *Journal of the Operational Research Society*, 58, 865–873.
- Radnor, Z. J. (2010). *Review of business process improvement methodologies in public services*. Aim Research.
- Raimundo, E. A., Dias, C. N., & Guerra, M. (2015). Logística de medicamentos e materiais em um hospital público do Distrito Federal. *RAHIS-Revista de Administração Hospitalar e Inovação em Saúde*, 12(2).
- Régis, T. K. O., Santos, L. C., & Gohr, C. F. (2019). A case-based methodology for Lean implementation in hospital operations. *Journal of Health Organization and Management*, 33(6), 656–676.
- Revuelta, I., Acebes, P., Saenz-Royo, C., & Salazar-Aguilar, A. (2021). A hybrid data envelopment analysis—artificial neural network prediction model for COVID-19 severity in transplant recipients. *Artificial Intelligence Review*, 54(6), 4653–4684.
- Sexton, T. R., Leiken, A. M., Sleeper, S. A., & Coburn, A. F. (1989). The impact of prospective reimbursement on nursing home efficiency. *Medical Care*, 154–163.
- Soares, A. B., Pereira, A. A., & Milagre, S. T. (2017). A model for multidimensional efficiency analysis of public hospital management. *Research on Biomedical Engineering*, 33, 352–361.
- Souza, P. C., Scatena, J. H. G., & Kehrig, R. T. (2017). Eficiência hospitalar no SUS: Análise de 10 hospitais do mix público-privado do estado de Mato Grosso. *Cadernos Gestão Pública e Cidadania*, 22(72).
- Souza, P. S., Meza, L. A., Silva, A. C., Souza, G. S., & Hubner, D. A. (2022). Modelo directional distance functions para avaliação da eficiência das nações na vacinação contra a COVID-19. In *Anais do 54º Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional*.
- Tone, K. (2001). A slacks-based measure of efficiency in data envelopment analysis. *European Journal of Operational Research*, 130(3), 498–509.

MELHORIA DA EFICIÊNCIA DE HOSPITAIS PÚBLICOS BRASILEIROS: UMA APLICAÇÃO DA ABORDAGEM LEAN-DEA

Womack, J. P., Jones, D. T., & Roos, D. (2007). *The machine that changed the world: The story of lean production--Toyota's secret weapon in the global car wars that is now revolutionizing world industry*. Simon and Schuster.