

MODELO INTEGRADO DA TEORIA DAS RESTRIÇÕES E OSE PARA APRIMORAR A EFICIÊNCIA OPERACIONAL NA ASSISTÊNCIA TÉCNICA HOSPITALAR¹

INTEGRATED MODEL OF THE THEORY OF CONSTRAINTS AND OSE TO ENHANCE OPERATIONAL EFFICIENCY IN HOSPITAL TECHNICAL ASSISTANCE SERVICES

Luiz Felipe Bier da Silveira*  E-mail: luzrs14@gmail.com

*Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, RS, Brasil.

Resumo: O objetivo deste estudo é aplicar uma abordagem integrada da Teoria das Restrições (TOC), por meio da lógica Tambor-Pulmão-Corda (TPC), associada à métrica Overall Service Effectiveness (OSE), para otimizar a gestão do fluxo de ordens de serviço em uma empresa de assistência técnica hospitalar. A sistemática desenvolvida inclui o uso de painéis de Business Intelligence (BI) e a implementação de uma lógica condicional de corda baseada na carga horária acumulada por técnico. O pulmão foi dimensionado em horas úteis e categorizado por faixas de controle, permitindo decisões automatizadas sobre a liberação de novas ordens. Para mensurar os efeitos da intervenção, utilizou-se a métrica OSE. Os resultados demonstraram aumento significativo da eficiência operacional, com elevação do OSE de 58,9% para 85,4%. O modelo proposto apresenta alto potencial de replicabilidade em serviços com gargalos operacionais bem definidos, reforçando a viabilidade da aplicação prática da TOC em ambientes de serviço.

Palavras-chave: Cinco passos de focalização. Tambor-Pulmão-Corda. Teoria das Restrições. TOC. Overall Service Effectiveness.

Abstract: The objective of this study is to apply an integrated approach based on the Theory of Constraints (TOC), using the Drum-Buffer-Rope (DBR) logic combined with the Overall Service Effectiveness (OSE) metric, to optimize the management of service order flow in a hospital technical assistance company. The proposed system includes the use of Business Intelligence (BI) dashboards and the implementation of a conditional rope logic driven by the technicians' accumulated workload. The buffer was sized in effective working hours and categorized into control ranges, enabling automated decisions regarding the release of new service orders. The OSE metric was adopted to measure the effects of the intervention. The results showed a significant increase in operational efficiency, with OSE rising from 58.9% to 85.4%. The proposed model demonstrates high replicability potential in services with well-defined operational bottlenecks, reinforcing the feasibility of applying TOC in service environments.

Keywords: Five Focusing Steps. Drum-Buffer-Rope. Theory of Constraints. TOC. Overall Service Effectiveness.

¹Trabalho aprovado no 45º Encontro Nacional de Engenharia de Produção (ENEGEP), que ocorreu de 14 a 17 de outubro de 2025 em Natal, RN.

1 INTRODUÇÃO

A assistência técnica de equipamentos hospitalares constitui um elemento crucial para a manutenção da eficiência operacional nos serviços de saúde. No entanto, esse tipo de serviço enfrenta desafios significativos relacionados à gestão do fluxo de ordens de serviço, alocação eficiente de recursos técnicos e cumprimento de prazos de atendimento. A variabilidade dos processos e a dificuldade em identificar e controlar gargalos operacionais tornam o cenário ainda mais complexo, especialmente quando se busca garantir a confiabilidade do atendimento.

A literatura em gestão de operações oferece diferentes metodologias para tratar eficiência e fluxo, porém grande parte delas foi originalmente concebida para ambientes industriais, onde a previsibilidade do processo tende a ser maior. Nesse sentido, a Teoria das Restrições (TOC) surge como abordagem particularmente relevante, ao propor que a performance global do sistema depende diretamente da estabilização de seu gargalo. Ao integrar a lógica Tambor-Pulmão-Corda (TPC) com indicadores operacionais que permitam medir eficiência real, amplia-se o potencial de intervenção sobre elementos críticos do processo.

Diante desse cenário, a aplicação da metodologia dos Cinco Passos de Focalização da TOC (*Theory of Constraints*), complementada pelo sistema Tambor-Pulmão-Corda, pode contribuir para a otimização dos fluxos de trabalho. Esta pesquisa propõe a implementação integrada desses métodos, em conjunto com a métrica Overall Service Effectiveness (OSE), visando estabelecer um sistema abrangente de melhoria contínua. Este estudo tem como objetivo principal desenvolver um modelo de gestão que permita medir a eficiência geral do fluxo de atendimento de assistência técnica e aumentá-la através da estabilização e controle do processo com a aplicação da sistemática de Tambor-Pulmão-Corda da Teoria das Restrições.

Portanto a abordagem metodológica adotada neste trabalho fundamenta-se na aplicação sistemática dos princípios da TOC. O processo inicia-se com a identificação da restrição operacional, seguido pela implementação de mecanismos de controle de fluxo com base no sistema Tambor-Pulmão-Corda. Para mensuração objetiva dos resultados, emprega-se a métrica OSE, que avalia disponibilidade operacional,

performance e qualidade dos atendimentos. A integração dessas ferramentas visa criar um modelo robusto e replicável para a melhoria contínua dos serviços de assistência técnica hospitalar.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Nesta seção será detalhado o referencial teórico que embasa este estudo, como a metodologia dos Cinco Passos de Focalização e o sistema Tambor-Pulmão-Corda e como contribuem para a melhoria de processos em ambientes com restrições identificadas. Em seguida, será explorada a métrica de eficiência OSE, utilizada para medir e otimizar a performance dos serviços de assistência técnica, com foco na eficiência, no tempo de resposta e na gestão de recursos.

2.1 Cinco passos de focalização

A TOC parte do princípio de que todo sistema possui, em determinado momento, um elemento que limita sua capacidade de gerar resultados e essa premissa deriva do fato de que melhorias distribuídas de forma aleatória ao longo do processo raramente produzem impacto global significativo (Goldratt; Cox, 2004). A TOC propõe os Cinco Passos de Focalização como metodologia sistemática para melhoria contínua de processos através de uma lógica de gestão orientada à busca de ganhos sistêmicos, evitando que esforços de melhoria se dispersem em áreas que não restringem o desempenho. Os cinco passos são ilustrados na Figura 1.

Figura 1 — Ilustração dos Cinco passos de focalização da TOC



Fonte: Adaptado de Goldratt e Cox (2004).

A lógica dos cinco passos de focalização estabelece uma base conceitual robusta para compreender como sistemas de serviços podem ser continuamente aprimorados. Ao identificar a restrição no primeiro passo, o gestor direciona os esforços de melhoria para o ponto que efetivamente limita o desempenho global, evitando desperdícios de energia em fatores que não produzem impacto sistêmico.

O segundo passo significa garantir que ela opere de forma estável, sem interrupções ou flutuações decorrentes de falhas de planejamento. Em ambientes de serviço, isso envolve desde assegurar disponibilidade técnica até proteger janelas de atendimento necessárias para evitar sobrecarga.

O terceiro passo assume papel central em operações hospitalares, onde múltiplos fluxos coexistem e as demandas alteram-se rapidamente. Subordinar implica ajustar os processos, sequências e alocação de tarefas para que nada interfira no bom funcionamento do gargalo. Na prática, significa evitar que ordens de serviço sem criticidade ocupem capacidade técnica em momentos inadequados ou que decisões descentralizadas gerem “ruído operacional”.

Já o quarto passo, elevar a restrição, possibilita ganhos estruturais por meio de investimentos ou redistribuição de capacidades. Em serviços técnicos, elevar a restrição pode envolver capacitar técnicos, redistribuir regiões ou adquirir ferramentas que ampliem produtividade.

Por fim, o quinto passo destaca o caráter sistêmico da TOC: evitar a inércia, retornando ao primeiro passo caso a restrição tenha sido superada, pois após uma melhoria, o gargalo pode ser deslocado e o ciclo recomeça (Goldratt, 1990; Goldratt; Cox, 2004).

2.2 Sistema Tambor-Pulmão-Corda

A metodologia Tambor-Pulmão-Corda (TPC) é uma das principais ferramentas derivadas da TOC, criada por Eliyahu Goldratt. Ela é utilizada para gerenciar e otimizar sistemas produtivos ou de serviços, especialmente em ambientes com gargalos identificados. A premissa central da TPC é alinhar o fluxo do processo ao ritmo de sua restrição mais significativa (o tambor), utilizando o pulmão para manter o sistema estável frente a variações e a corda para regular o fluxo de entrada (Schrageheim; Ronen, 1990; Watson; Blackstone; Gardiner, 2007).

- Tambor: Representa o ritmo do sistema, ditado pela restrição ou o recurso mais limitante. Todo o sistema deve operar de acordo com o ritmo do tambor, de modo a evitar o acúmulo de trabalho nas outras etapas.
- Pulmão: Refere-se a uma reserva estratégica de materiais ou tarefas antes da restrição para assegurar que o sistema não pare em decorrência de variações e imprevistos. O pulmão garante que a restrição tenha sempre trabalho disponível para processar, evitando ociosidade.
- Corda: É o mecanismo de controle que regula o fluxo de trabalho em direção ao tambor. A corda ajusta a entrada de material no sistema, de modo que não haja sobrecarga e o ritmo de produção seja sustentado de forma eficiente (Goldratt, 1984; Schrageheim; Ronen, 1990; Gupta; Boyd, 2008).

A aplicação da metodologia TPC é particularmente útil em ambientes onde há variações na demanda ou incertezas no fornecimento de insumos, como em operações de manutenção ou assistência técnica. A coordenação entre pulmão, tambor e corda resulta em um fluxo mais previsível e estável, o que, por sua vez, melhora os indicadores operacionais como o acordo de nível de serviço (*Service Level Agreement*, SLA), a disponibilidade de inventário e a eficácia no atendimento (Watson;

Blackstone; Gardiner, 2007). O TPC, aliado à administração do pulmão, proporcionam uma importante capacidade para reduzir as perdas e interrupções da produção (Leitão Filho et al., 2024)

2.3 Overall Equipment Effectiveness (OEE)

O OEE foi originalmente desenvolvido no contexto do *Total Productive Maintenance* (TPM) com o objetivo de medir a produtividade real dos equipamentos e identificar, de maneira estruturada, onde ocorrem as principais perdas do processo produtivo (Nakajima, 1988). A partir de sua adoção, o OEE tornou-se rapidamente reconhecido como uma métrica essencial para o diagnóstico operacional no nível de máquina, especialmente nos anos finais da década de 1980 e início dos anos 1990. Desde então, consolidou-se como uma das ferramentas mais utilizadas pela indústria de manufatura, não apenas por monitorar a qualidade e desempenho da produtividade, mas também como um indicador e condutor de melhorias de desempenho (Garza-Reyes et al., 2010; Andersson; Bellgran, 2011).

A relevância do OEE se explica pela sua capacidade de sintetizar, em um único indicador, três dimensões fundamentais do desempenho operacional: disponibilidade, performance e qualidade. Cada uma delas captura um conjunto distinto de perdas que afetam o rendimento do equipamento, o que permite uma análise abrangente do processo produtivo. Nakajima (1988) estruturou essas perdas em seis categorias clássicas, frequentemente denominadas “Seis Grandes Perdas”, que incluem falhas inesperadas, setups e ajustes, pequenas paradas, redução de velocidade, defeitos de processo e retrabalhos. Essas perdas são agrupadas nas três classes que compõem diretamente o cálculo do OEE: perdas de disponibilidade, perdas de performance e perdas de qualidade.

Ao decompor a produtividade nesses componentes, o OEE não apenas evidencia onde ocorre a maior parcela das ineficiências, mas também facilita o planejamento de ações de melhoria com foco na causa raiz. Sua aplicação sistemática permite à gestão acompanhar tendências, comparar turnos ou linhas produtivas, mensurar impactos de intervenções e estabelecer metas coerentes com a capacidade real dos processos. O Quadro 1 apresenta a estrutura consolidada das seis perdas que fundamentam o cálculo da métrica e explicita como cada uma está associada às

três dimensões que compõem o indicador. A medição do OEE é realizada pela classificação de 6 tipos de perdas agrupados em 3 classes (Nakajima, 1988), conforme visto no Quadro 1:

Quadro 1 — Classificação das perdas e suas fórmulas de cálculo no OEE

<p>A. Perdas de disponibilidade</p> <p>A1. Setup;</p> <p>A2. Quebras e paradas.</p>	$A = \frac{\text{Capacidade instalada} - \text{Paradas de máquina}}{\text{Capacidade instalada}}$
<p>B. Perdas de desempenho</p> <p>B1. Micro paradas;</p> <p>B2. Baixa velocidade.</p>	$B = \frac{\text{Peças produzidas}}{\text{Capacidade utilizada} \times \text{Taxa teórica}}$
<p>C. Perdas de qualidade</p> <p>C1. Perdas de material;</p> <p>C2. Retrabalho.</p>	$C = \frac{\text{Peças produzidas} - \text{Peças com defeito}}{\text{Peças produzidas}}$

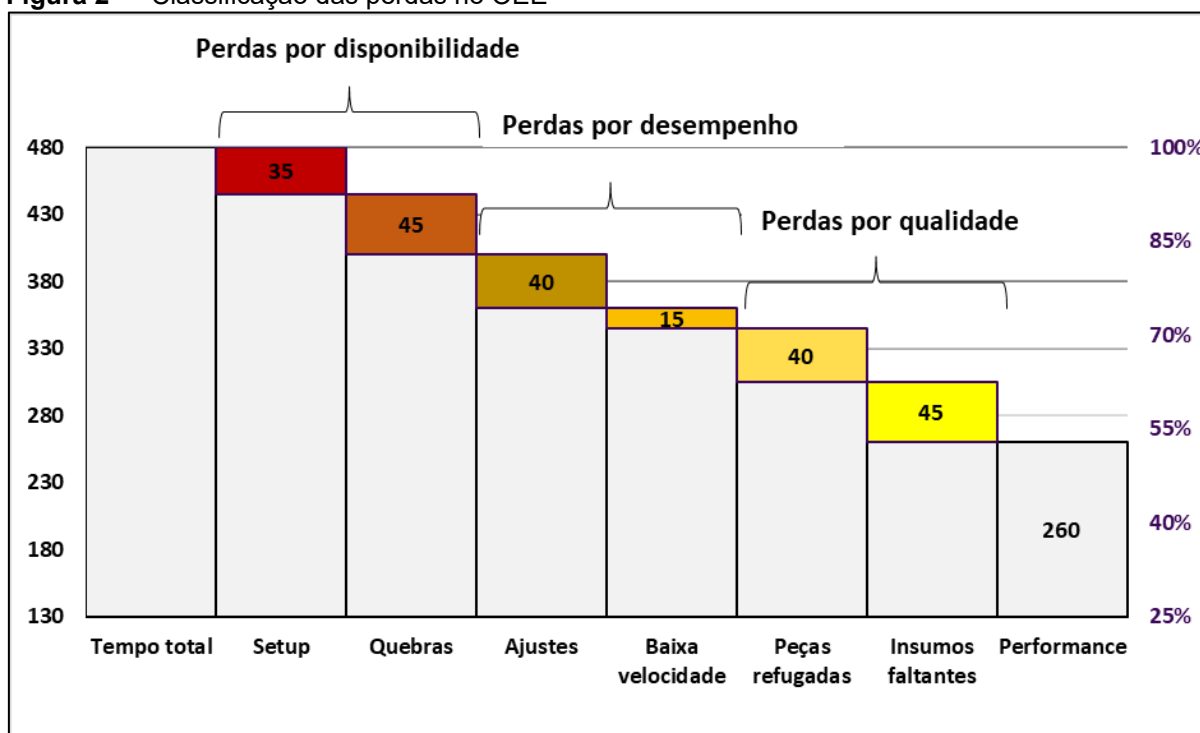
Fonte: Adaptado de Nakajima (1988).

O resultado do OEE trata-se da relação entre o tempo em que foi agregado valor ao produto e o tempo de capacidade instalada da máquina, isto é, multiplicando-se as perdas de disponibilidade (A), perdas de desempenho (B) e perdas de qualidade (C), conforme a equação 1 (Nakajima, 1988):

$$\text{OEE} = A \times B \times C \quad (1)$$

Na Figura 2 é possível ver um exemplo de como o resultado do OEE é obtido após a contabilização de todas as perdas, já categorizadas entre as 6 grandes perdas e com as três classes de perdas: perdas de disponibilidade, perdas de performance e perdas de qualidade.

Figura 2 — Classificação das perdas no OEE



Fonte: Adaptado de Andersson e Bellgran (2011).

2.3 Overall Service Effectiveness (OSE)

Apesar do OEE ter sido desenvolvido para medir a eficiência da performance, ele tem sido aprimorado e adaptado para diferentes situações e aplicações. Vários autores ampliaram os conceitos para o *Overall Process Effectiveness* (OPE), que avalia processos em vez de unidades (Al-Najjar, 1996; Al-Najjar, 1999) e para processos em uma empresa de projetos (Kipper; Muller, 2011). Também foi desenvolvido o *Overall Craft Effectiveness* (OCE) para a aviação (Peters, 2003). A partir dessas aplicações foi introduzido por Berhan (2015) o Overall Service Effectiveness e que foi aplicado para o sistema de transporte público urbano, possibilitando a medição da eficiência do atendimento de serviço modelado por uma analogia do OEE, com todos os seus parâmetros derivados do mesmo conceito de 3 grandes pilares para o cálculo da eficiência: disponibilidade (A), performance (B) e qualidade (C), conforme o Quadro 2.

Quadro 2 — Classificação das perdas e suas fórmulas de cálculo no OSE

A. Perdas de disponibilidade A1. Transportes não planejados; A2. Paradas.	$A = \frac{\text{Tempo disponível de transporte} - \text{Tempo paradas}}{\text{Tempo total disponível}}$
B. Perdas de desempenho B1. Assentos vazios.	$B = \frac{\text{Passageiros transportados}}{\text{Passageiros possíveis}}$
C. Perdas de qualidade C1. Satisfação dos passageiros.	$C = \frac{\text{Passageiros transportados} - \text{Passageiros insatisfeitos}}{\text{Passageiros transportados}}$

Fonte: Adaptado de Berhan (2015).

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O presente trabalho caracteriza-se como um estudo de caso, conduzido em uma empresa de assistência técnica de equipamentos hospitalares, onde foi implementada uma sistemática de agendamento baseada na TOC, com o objetivo de otimizar o fluxo de atendimento técnico. Inicialmente, realizou-se um mapeamento completo do processo de manutenção, identificando as etapas críticas e os principais gargalos operacionais.

Na sequência, aplicou-se a métrica do OSE para avaliar a eficiência do atendimento, identificando os pontos com maior impacto na performance do serviço. Posteriormente, a metodologia TPC, oriunda da TOC, foi adotada para gerenciar e estabilizar o fluxo do processo, garantindo que o ritmo da operação estivesse subordinado à capacidade do recurso restritivo. A implementação foi monitorada por meio da análise do OSE, permitindo a verificação dos ganhos obtidos com a nova sistemática.

3.1 Cenário de estudo

A empresa estudada presta serviço de assistência técnica para equipamentos hospitalares para hospitais, clínicas, centros cirúrgicos e demais prestadores de serviços de saúde. Está situada com sua matriz em Porto Alegre e possui mais quatro filiais localizadas em: Curitiba, Itajaí, Barueri e Brasília. Realiza os serviços de assistência técnica em duas modalidades principais: interno e externo. Na primeira forma, realiza as avaliações e reparos em seus próprios laboratórios e na segunda, realiza o atendimento nas instalações do cliente, nas próprias salas cirúrgicas e

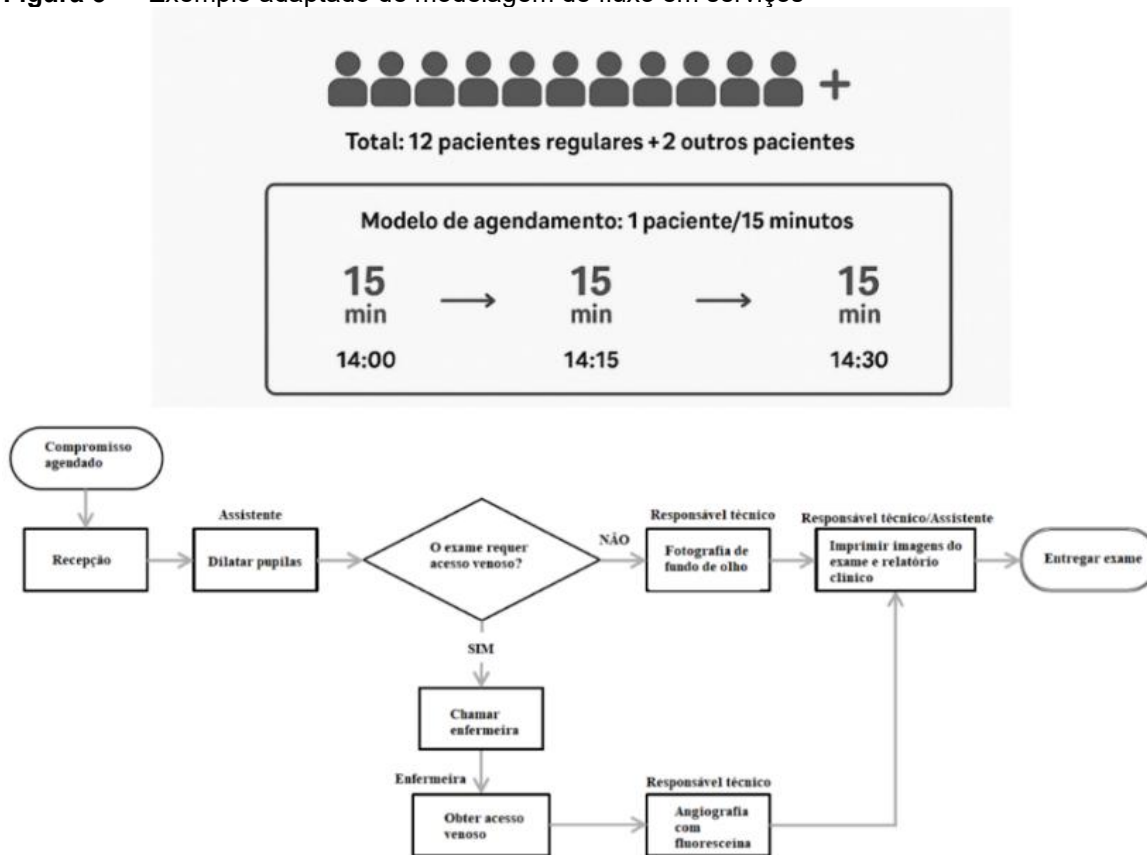
demais locais do cliente, pois em muitos casos há a necessidade de reparo de equipamentos de pacientes em UTI, onde não é possível liberar o equipamento. O presente estudo foi conduzido no período de setembro de 2023 a setembro de 2024 na matriz da empresa.

3.2 Mapeamento do processo de assistência técnica

Para identificar qual atividade atua como a restrição do sistema e determinar onde devem ser aplicados o pulmão e a corda, é essencial realizar um mapeamento detalhado das principais atividades do processo, conforme o modelo na Figura 3, adaptado de Bacelar-Silva, Cox III e Rodrigues (2024). Esse mapeamento precisa dos tempos médios de execução em cada etapa e para obtê-los é necessário categorizar os serviços com base no grupo de equipamentos em análise, já que cada um deles possui procedimentos distintos, variando em complexidade, ferramentas utilizadas, testes requeridos e tipo de serviço. O fluxo de atendimento é analisado em todos os passos desde a abertura até a conclusão das ordens de serviço. São identificados padrões de demanda, tempos médios de execução e eventuais pontos de acúmulo de trabalho. Compreender essa dinâmica é essencial para determinar onde e como o sistema TPC será aplicado, assegurando que a restrição tenha sempre trabalho disponível para processar.

Além disso, o mapeamento detalhado fornece a visão sistêmica necessária para compreender como as atividades se inter-relacionam e como decisões tomadas em etapas iniciais impactam diretamente o comportamento da restrição. Essa compreensão amplia a precisão das intervenções, permitindo que a metodologia seja aplicada de maneira mais coerente com a realidade operacional e evitando ajustes baseados apenas em percepções isoladas ou experiências individuais. Assim, o mapeamento funciona como base analítica para todas as etapas subsequentes de definição do pulmão, da corda e da própria proteção da restrição.

Figura 3 — Exemplo adaptado de modelagem de fluxo em serviços



Fonte: Adaptado de Bacelar-Silva, Cox III e Rodrigues (2024).

3.3 Cálculo da eficiência

A eficiência dos técnicos representa um dos pilares para a avaliação do desempenho operacional da equipe e está diretamente relacionada ao aproveitamento produtivo da jornada de trabalho. No contexto deste estudo, a eficiência foi calculada considerando o tempo efetivamente dedicado às atividades de avaliação e reparo dos equipamentos, em comparação com o tempo total disponível dos técnicos durante o período analisado. Essa abordagem permite quantificar, de forma objetiva, o quanto da capacidade instalada da equipe está sendo convertida em entrega técnica real.

Para realizar esse cálculo, é necessário analisar as ordens de serviço executadas e os respectivos tempos de avaliação calculados previamente no mapeamento do processo. Como cada grupo de produto apresenta tempo padrão específico para sua avaliação, a multiplicação do número de atendimentos por esse

tempo esperado permite estimar o volume de trabalho produtivo que deveria ser realizado para cada técnico. Essa estimativa funciona como uma referência de desempenho, servindo para identificar desvios tanto positivos quanto negativos em relação ao padrão operacional desejado. Além disso, a eficiência também considera o tempo registrado pelos técnicos na ferramenta corporativa, que inclui não apenas o período dedicado diretamente às avaliações e reparos, mas também atividades complementares, como deslocamentos, preenchimento de relatórios e interações administrativas. A comparação entre os tempos produtivos esperados e o total de horas efetivamente trabalhadas permite identificar oportunidades de melhoria, como redução de ociosidade, eliminação de retrabalhos e reorganização das rotinas de atendimento.

A utilização dessa métrica é fundamental para o modelo integrado proposto neste estudo, pois fornece visibilidade sobre o comportamento operacional da equipe e permite avaliar se a capacidade da restrição está sendo explorada adequadamente. Ao relacionar eficiência técnica com o fluxo de ordens de serviço, torna-se possível identificar situações em que o gargalo é provocado não apenas por excesso de demanda, mas também por perdas distribuídas ao longo do processo. Dessa forma, o cálculo da eficiência atua como um instrumento complementar à lógica Tambor-Pulmão-Corda, contribuindo para uma visão mais precisa da operação e orientando decisões de gestão baseadas em evidências.

3.4 Administração do pulmão

Para implementar um sistema eficiente alinhado aos princípios da TOC, é necessário estruturar uma abordagem operacional que trate o pulmão como o elemento central de proteção da restrição. O pulmão funciona como uma reserva de tempo planejada cuja função é absorver a variabilidade natural do processo, assegurando que o recurso crítico permaneça continuamente abastecido. Em operações de assistência técnica hospitalar, essa necessidade torna-se ainda mais evidente, uma vez que os tempos de atendimento variam de acordo com o tipo de equipamento, o nível de complexidade, as condições de acesso e eventuais imprevistos no local do cliente. Assim, o pulmão atua como um estoque de segurança

capaz de preservar a produtividade do gargalo e estabilizar o ritmo do fluxo operacional.

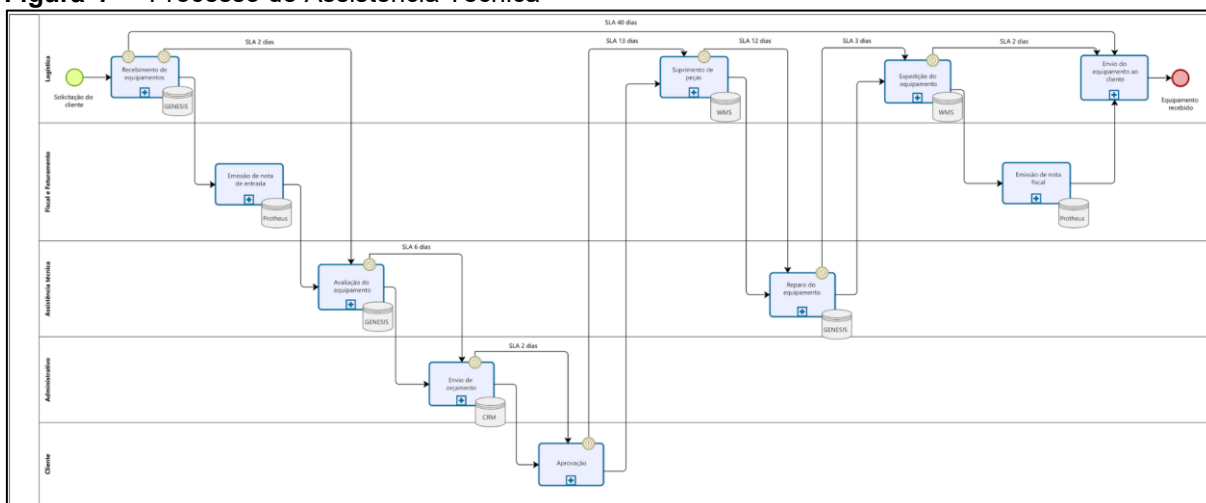
Para administrar adequadamente esse pulmão é necessário implementar um mecanismo estruturado de programação que considere a capacidade real do sistema. Esse agendamento, posicionado imediatamente antes da restrição, determina quando cada ordem de serviço deve ser liberada para execução, evitando que chegue ao recurso crítico em velocidade incompatível com sua capacidade. Trata-se da aplicação do conceito de corda dentro do sistema Tambor-Pulmão-Corda (TPC). A corda desempenha o papel de sincronizar o ritmo da operação com o tambor, isto é, com a restrição, impedindo que o sistema opere em superprodução, gere acúmulo excessivo de ordens pendentes e aumente o tempo médio de atendimento.

Para que essa lógica funcione de maneira confiável e prática, é essencial contar com uma ferramenta de gestão que permita visualizar o nível de consumo do pulmão em tempo real. Essa visibilidade possibilita classificar o pulmão em faixas de controle e orientar intervenções gerenciais. Quando o pulmão se encontra abaixo do limite inferior, há risco de ociosidade na restrição, indicando necessidade de redistribuição ou antecipação de ordens. Quando ultrapassa o limite superior, há risco de sobrecarga futura, exigindo contenção imediata da liberação de novas ordens por meio da corda. Dessa forma, o monitoramento contínuo do pulmão, aliado a uma rotina na aplicação da corda, cria um ambiente operacional mais estável, reduz a variabilidade do fluxo e assegura que a restrição opere de maneira sustentável sem comprometer a eficiência global do sistema.

4 RESULTADOS

A aplicação do sistema TPC e do OSE no setor de assistência técnica em equipamentos hospitalares teve como foco a estabilização do fluxo e o aumento da previsibilidade operacional por meio da proteção do recurso restritivo. Para isso, inicialmente realizou-se o mapeamento completo do processo, desde o recebimento dos equipamentos até a liberação final ao cliente. A partir do mapeamento, foram identificadas todas as etapas envolvidas, suas interações e os indicadores de SLA de cada etapa de execução, demonstrado na Figura 4.

Figura 4 — Processo de Assistência Técnica



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

A partir desse mapeamento detalhado, para obter a estabilização do fluxo e a proteção da restrição foi necessário medir o esforço técnico necessário para executar cada etapa do processo. Portanto, para que o sistema TPC possa operar de forma confiável é necessário estabelecer tempos-padrão que representem o trabalho real envolvido na avaliação dos diferentes grupos de equipamentos. Esses tempos também são fundamentais para o cálculo do OSE, pois permitem estimar o volume produtivo esperado e identificar perdas de performance. Assim, após o mapeamento, a etapa seguinte consistiu na determinação dos tempos médios de execução por grupo de produto.

A definição dos tempos médios por grupo de produto resultou de um processo estruturado que combinou observação direta, consulta a especialistas e análise histórica dos registros operacionais da empresa. Inicialmente, foram realizadas reuniões técnicas com supervisores e coordenadores da assistência, nas quais se discutiram as particularidades de cada tipo de equipamento, as etapas envolvidas na avaliação inicial e os fatores que impactam a duração do atendimento. Esse alinhamento preliminar permitiu estabelecer uma base de entendimento comum sobre a complexidade dos grupos de produtos e sobre os critérios utilizados para categorizar as atividades.

Em seguida, foi conduzido um acompanhamento sistemático das rotinas de trabalho dos técnicos, tanto em campo quanto em bancada. Durante esse período, foram registrados tempos reais de execução das atividades de avaliação,

contemplando desde a abertura da ordem de serviço até a conclusão da triagem técnica. Esse acompanhamento possibilitou observar elementos que influenciam diretamente a duração do atendimento, como necessidade de desmontagem, acesso a componentes internos, procedimentos de segurança, entre outros. A observação também permitiu identificar variações entre técnicos e compreender como fatores como experiência, familiaridade com o equipamento e disponibilidade de ferramentas influenciam a execução.

Além da observação direta, o processo incluiu uma etapa de validação quantitativa. Foram extraídos dados do histórico de atendimentos registrados na ferramenta de gestão de ordens de serviço, abrangendo o período do ano inteiro de 2023, totalizando 6567 ordens de serviço e contemplando diferentes grupos de produto. A análise desse histórico permitiu comparar os tempos observados em campo com os tempos efetivamente registrados pela operação ao longo dos meses, reduzindo o risco de viés decorrente de medições pontuais. Esse cruzamento de informações ajudou a consolidar valores médios mais robustos, capazes de refletir tanto a prática operacional quanto o comportamento histórico da equipe. Na figura 5 é demonstrado o histórico de atendimento com os tempos de execução por grupo de produto.

Figura 5 — Histórico de atendimentos com os tempos de execução por grupo de produto

Qtde. OS

6567

Apontamento	Início	Término	Grupo de produto	Tempo execução	Tempo padrão	Técnico
DEFEITO ENCONTRADO: PNI NÃO ESTAVA FUNCIONANDO. VERIFICADO QUE O MÓDULO DE PNI ESTÁ COM O MANIFOLD E COM A VALVULA UNIDIRECIONAL DA BOMBA DANIFICADO TESTE REALIZADO CONFORME CHECK UP DE PNI NO MANUAL DO FABRICANTE E COM JIGGÁ TESTE. AO VERIFICAR O FUNCIONAMENTO DA BATERIA FOI CONSTATO QUE A MESMA NÃO ESTÁ FUNCIONANDO TAMBÉM SERÁ SOLICITADA PARA ORÇAMENTO.	15/12/2023 15:51:00	15/12/2023 15:56:00	4530MONITORES MULT. PREMIUM	02:07:00		60
Equipamentos testados e liberados para uso.	23/10/2023 10:30:00	23/10/2023 12:37:00	4520MÓDULOS	02:07:00		120
Kit preventiva e calibração com a ampola de gases aplicada.	27/10/2023 08:53:00	27/10/2023 11:00:00	4520MÓDULOS	02:07:00		60
Apto para o uso						
O.S FECHADA.	18/12/2023 14:29:00	18/12/2023 16:36:00	4410ANESTESIA ITENS	02:07:00		180
Efetuada teste do monitor.	18/09/2023 14:00:00	18/09/2023 16:06:00	S100GRUPO SEM META P REVENDA (ULTIMO GERA FATURA	02:06:00		60
Finalizada a corretiva no CSM.	06/12/2023 08:02:00	06/12/2023 10:08:00	1130MONITOR AMBULATORIAL	02:06:00		120
Após avaliação e testes funcionais se faz necessário a troca dos itens abaixo. Bateria (mais de dois anos de uso) Correia de transmissão (com desgaste troca preventiva) Célula de O2 (recomendável troca anual) Porta de acesso superior lado esquerdo quebrado copo de umidificação trincado Acrílico interno lado direito quebrado filtro de ar Filtro metálico de O2	13/12/2023 10:14:00	14/12/2023 12:19:00	4330INCUBADORAS	02:05:00		360
Defeito PNI peça apontada conforme apontamento. Reparo placa de controle demais testado e ok.	28/11/2023 08:40:00	30/11/2023 10:45:00	4520MÓDULOS	02:05:00		120
Durante avaliação constatou-se que o equipamento apresenta um pequeno porém profundo arranhão no sensor de toque da tela esse arranhão impede o correto funcionamento do sistema touchscreen o que inviabiliza o uso do monitor e dificulta seu manuseio. Foi gerado o orçamento do conjunto de acabamento frontal e tela touchscreen ao cliente.	27/11/2023 14:00:00	27/11/2023 16:04:00	4530MONITORES MULT. PREMIUM	02:04:00		60
Realizada substituição das peças orgadas testes funcionais ajustes e calibração ok. Equipamento apto para uso.	27/12/2023 07:00:00	27/12/2023 09:04:00	4410ANESTESIA ITENS	02:04:00		180
Touch com erro Intermitente.	27/11/2023 09:00:00	27/11/2023 11:04:00	4530MONITORES MULT. PREMIUM	02:04:00		60
Anilizado as peças calibração do módulo de Gases testes de funcionamento	05/10/2023 13:19:00	05/10/2023 15:22:00	4520MÓDULOS	02:03:00		120

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Por fim, os tempos foram discutidos e ajustados em conjunto com as lideranças técnicas, garantindo que os valores finais representassem de forma realista o esforço necessário para avaliar cada grupo de equipamento. O resultado desse processo é um conjunto de tempos padronizados que serviu como base para a modelagem da capacidade operacional, permitindo o cálculo da carga horária acumulada e apoiando a lógica de liberação de ordens utilizada no modelo Tambor-Pulmão-Corda implementado neste estudo.

Tabela 1 — Tempos de execução de avaliação dos equipamentos por grupo e tipo de serviços

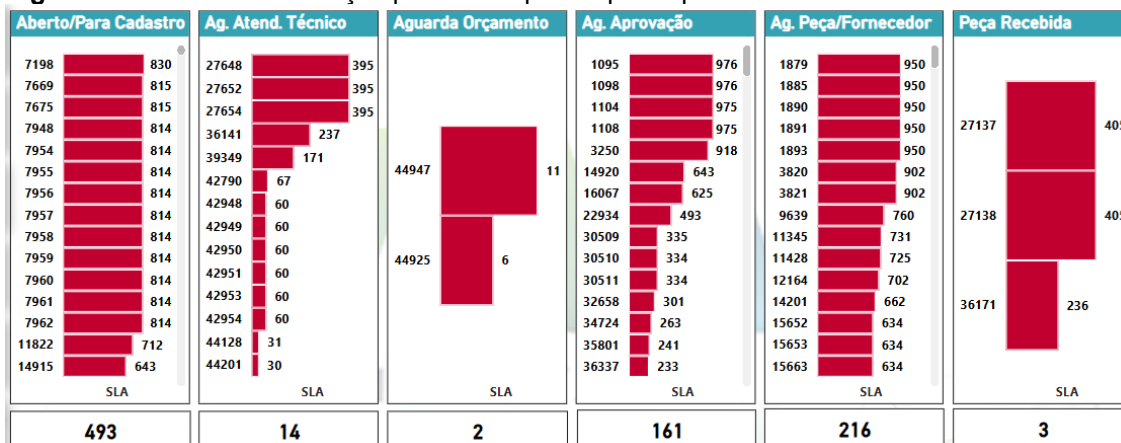
Grupo de Produto	Tipo de O.S.	Tempo (Minutos)
2220SIST DE COMPRESSAO SCD	Corretiva	30
4340MONITORES FETAIS	Corretiva	60
4110ELETROCARDIOGRAFOS	Corretiva	60
2320OXIMETRIACAP	Corretiva	60
4420VAPORIZADORES	Corretiva	60
4540 OXIMETRO ITENS	Corretiva	60
5430ESTATIVA MODULAR	Corretiva	120
4720CENTRAL DE MONITORACAO	Corretiva	120
4120CARDIOVERSORES	Corretiva	120
4530MONITORES MULT PREMIUM	Corretiva	120
4520MODULOS	Corretiva	120
5410FOCO CIRURGICO	Corretiva	120
I230DEFIBRILADOR EXTERNO AUTOMATICO	Corretiva	120
5310ELEVADOR DE PACIENTE	Corretiva	120
5120MACAS	Corretiva	120
4410ANESTESIA ITENS	Corretiva	180
I210VENTILADORES DE TRANSPORTE	Corretiva	180
4610VENTILADORES PULMONARES PREMIUM	Corretiva	180
5110CAMAS	Corretiva	180
I701INFUSAO	Corretiva	180
4130ERGOMETRIA	Corretiva	360
8110ELETROBISTURI	Corretiva	360

6100GRUPO BISTURI ELETRONICO	Corretiva	360
5420 MESA CIRURGICA	Corretiva	360
4330INCUBADORAS	Corretiva	360
4220ULTRASSOM	Corretiva	480

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Com o processo mapeado, foram identificadas as quantidades de ordens de serviços que estão pendentes em cada etapa do processo e ordenadas pela quantidade de dias pendente em um pareto por etapa, demonstrando que existem duas etapas que apresentam um elevado número de ordens pendentes: Aberto/Para Cadastro e Aguardando Atendimento Técnico. A primeira etapa trata-se de ordens de serviço que estão aguardando a liberação e atribuição de um técnico para a execução e a segunda trata-se das que estão atribuídas e na fila de atendimento pelo técnico, compondo o pulmão. Com base nisso, foi possível identificar o técnico responsável pela avaliação e reparo dos equipamentos como a restrição do processo e isso é evidenciado pela quantidade de ordens de serviços pendentes nas etapas anteriores à execução técnica (Aberto/Para Cadastro e Ag. Atend. Técnico), conforme pode ser visto na Figura 6.

Figura 6 — Ordens de Serviços pendentes por etapa do processo



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Portanto, a capacidade do técnico, limitada à jornada diária de trabalho de oito horas, é o ritmo do sistema. Em seguida, foi implementado o pulmão necessário para proteger a restrição contra variabilidades no processo. O pulmão foi posicionado imediatamente antes da estação do técnico, e representado por uma fila de ordens de

serviço prontas para avaliação ou reparo, isto é, ordens com todas as pendências resolvidas, incluindo aprovação financeira, informações técnicas completas, ferramentas e peças disponíveis. Essa estrutura garantiu a continuidade operacional do técnico, reduzindo paradas e interrupções não planejadas.

A lógica de aplicação da corda foi baseada em um modelo condicional de liberação de ordens de serviço, com base no volume de trabalho acumulado em horas úteis por técnico. Considerando que o SLA da etapa de execução técnica é de 6 dias úteis, o pulmão foi dimensionado com três níveis de controle, tendo como base uma jornada de 8 horas diárias:

- Nível vermelho: entre 0 e 13,2 horas (até 33% do pulmão) — liberação urgente de novas ordens;
- Nível amarelo: entre 13,2 e 26,4 horas (de 33% a 66% do pulmão) — sistema sob controle, porém em alerta;
- Nível verde: entre 26,4 e 40 horas (acima de 66% do pulmão) — sistema completo, sem liberação de novas ordens.

O dimensionamento do pulmão foi realizado com base na meta de SLA do processo de avaliação e reparo técnico de 6 dias e possui uma segurança de até 5 dias quando está em 100% de sua capacidade. A corda foi implementada por meio de um painel de Business Intelligence (Power BI), alimentado automaticamente com os dados do sistema operacional da empresa. Esse painel passou a monitorar em tempo real o consumo do pulmão e a indicar, por meio de semáforos visuais (verde, amarelo, vermelho), quando novas ordens poderiam ser liberadas para compor o pulmão. Quando o nível do pulmão se aproximava da linha inferior, o BI recomendava a liberação de novas ordens; quando se aproximava do limite superior, a liberação era bloqueada. Assim, a entrada de novos equipamentos no sistema passou a obedecer ao ritmo da restrição, reduzindo excessos de trabalho em processo e aumentando a previsibilidade.

Além da implementação do modelo TPC, foi aplicada a métrica de OSE como ferramenta de comparação da eficiência global do processo antes e depois da intervenção. O OSE foi composto por três indicadores principais: disponibilidade do

técnico, performance e qualidade das ordens entregues sem retrabalho, conforme pode ser visto no Quadro 3.

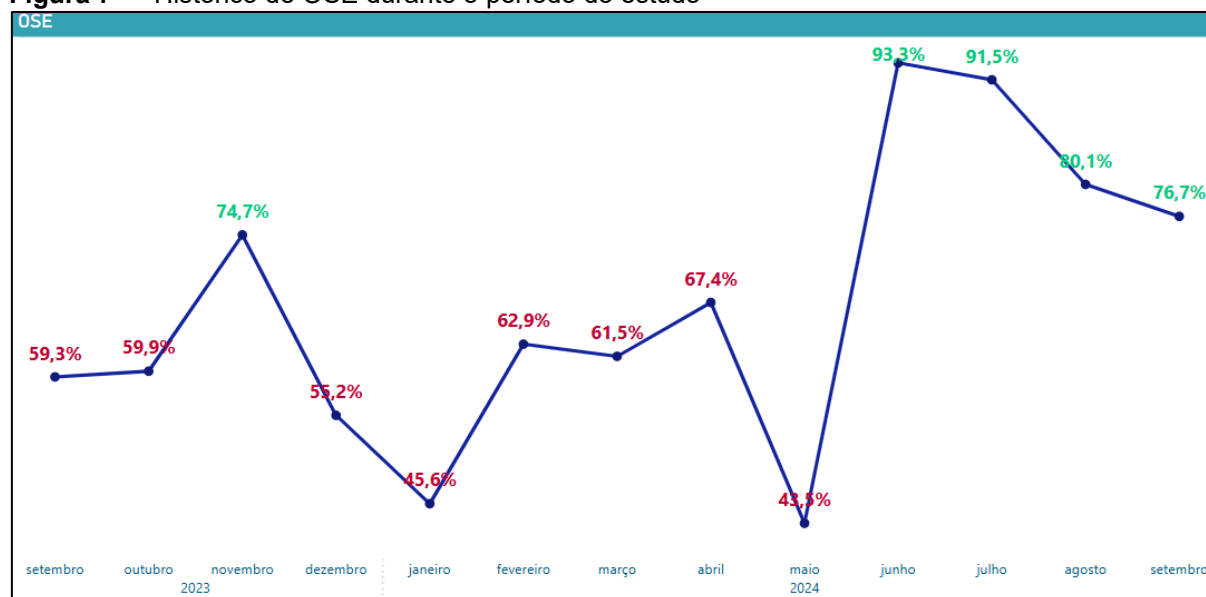
Quadro 3 — Classificação das perdas e suas fórmulas de cálculo no OSE

<p>A. Perdas de disponibilidade A1. Deslocamento para local do cliente; A2. Paradas.</p>	$A = \frac{\text{Tempo total de jornada} - \text{Tempo paradas}}{\text{Tempo total de jornada}}$
<p>B. Perdas de desempenho B1. Ritmo lento de avaliação; B2. Micro paradas.</p>	$B = \frac{\text{Ordens atendidas} \times \text{Tempo padrão}}{\text{Capacidade disponível} \times \text{Tempo padrão}}$
<p>C. Perdas de qualidade C1. Avaliações incorretas; C2. Retrabalho.</p>	$C = \frac{\text{Ordens atendidas} - \text{Ordens retrabalhadas}}{\text{Ordens atendidas}}$

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Para analisar o impacto do TPC, foi realizado um recorte dos resultados no OSE: de setembro de 2023 até maio de 2024 (antes do TPC) e de junho de 2024 até setembro de 2024 (com a aplicação da metodologia). O primeiro período apresentou uma média de OSE de 58,9%, para um total de 5445 ordens atendidas, enquanto o segundo registrou 85,4%, com um total de 3263 ordens atendidas, representando um aumento relativo de 45% na métrica OSE e refletindo uma melhoria significativa na eficiência do fluxo de atendimento técnico. Conforme apresentado na Figura 7, observam-se as variações do OSE ao longo dos períodos analisados.

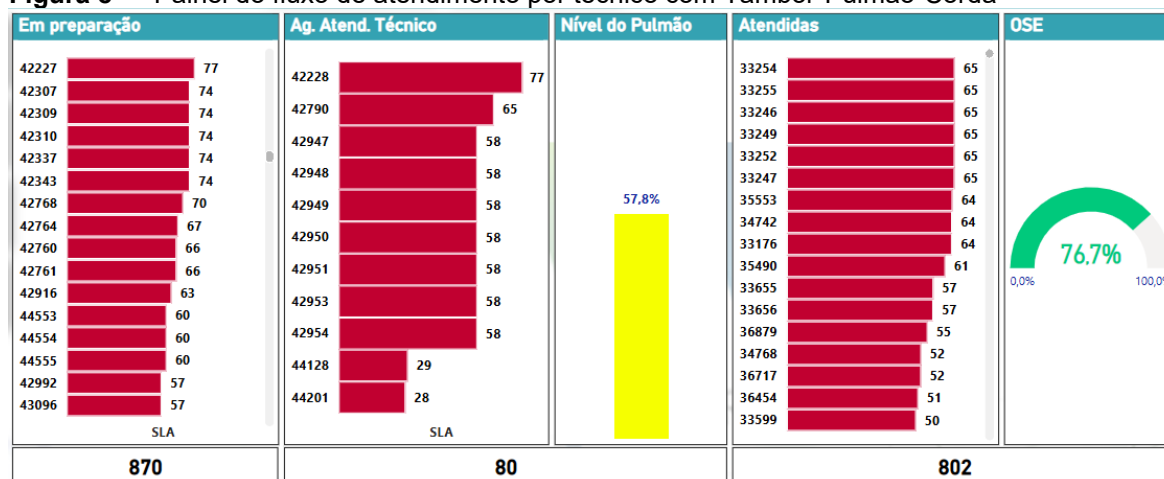
Figura 7 — Histórico de OSE durante o período do estudo



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

A implementação deste sistema de administração do pulmão baseado na TOC permitiu otimizar o fluxo atual e coletar os dados necessários para analisar com precisão a restrição do sistema e refinar o dimensionamento do pulmão. Com essa administração do pulmão, o supervisor técnico consegue visualizar quais são as ordens de serviço pendentes e quais técnicos estão disponíveis para executar os serviços, exemplificado no painel de fluxo de atendimento na Figura 8.

Figura 8 — Painel do fluxo de atendimento por técnico com Tambor-Pulmão-Corda



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

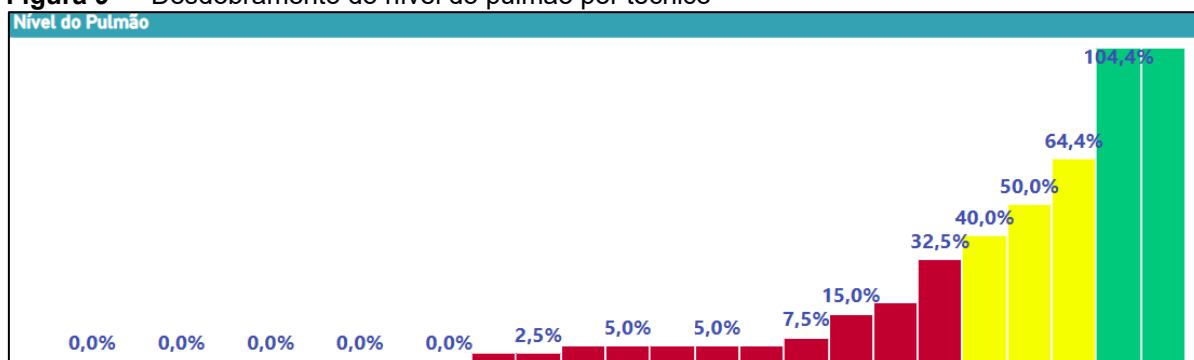
Esse mecanismo foi operacionalizado por meio do painel de Business Intelligence (BI), desenvolvido para calcular automaticamente o tempo total pendente por técnico e, a partir disso, classificar o status do pulmão conforme a política de gestão definida. O painel integra informações das ordens de serviço abertas, do tempo padrão de avaliação por grupo de produto e da disponibilidade individual dos técnicos, consolidando esses dados em indicadores visuais que permitem acompanhar, em tempo real, o consumo do pulmão.

Para cada técnico, o BI calcula a carga acumulada considerando todas as ordens atribuídas e converte esse volume em horas úteis pendentes, o que possibilita identificar de forma objetiva a proximidade da restrição em relação às suas faixas de controle. Essa categorização é essencial para orientar a tomada de decisões operacionais, uma vez que indica se a liberação de novas ordens pode ser realizada sem risco de sobrecarga ou, ao contrário, se deve ser temporariamente suspensa para evitar congestionar o gargalo.

Com base nessa lógica, técnicos cujo pulmão encontra-se abaixo da faixa ideal são automaticamente priorizados na alocação de novas ordens, uma vez que apresentam maior capacidade disponível para absorver atividades adicionais sem comprometer o fluxo. Da mesma forma, técnicos que se aproximam do limite superior do pulmão passam a ser protegidos, evitando a concentração excessiva de carga em um único ponto e garantindo a estabilização do ritmo imposto pelo tambor.

Esse processo automatizado reduz significativamente a subjetividade das decisões de alocação, antes dependentes da percepção individual dos supervisores, e aumenta a previsibilidade da operação, uma vez que todos os técnicos passam a ser gerenciados com base em critérios padronizados. A priorização dos técnicos e a representação visual das faixas de controle do pulmão podem ser observadas na Figura 9, que ilustra a lógica utilizada pelo sistema para distribuir as ordens de forma equilibrada e alinhada à capacidade real da restrição.

Figura 9 — Desdobramento do nível do pulmão por técnico



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

5 CONSIDERAÇÕES

O objetivo deste estudo foi aplicar uma abordagem integrada da TOC, por meio da lógica TPC, associada à métrica OSE, para otimizar a gestão do fluxo de ordens de serviço em uma empresa de assistência técnica hospitalar. A sistemática desenvolvida contemplou o uso de painéis de BI e uma lógica condicional de corda baseada na carga horária acumulada por técnico, com o intuito de manter o equilíbrio da operação e proteger o SLA do processo.

Os resultados obtidos demonstraram um ganho expressivo de eficiência, com o indicador OSE evoluindo de 58,9% para 85,4% após a implementação da

sistemática. A categorização visual do pulmão por faixas de cores e a aplicação prática do conceito de corda permitiram uma tomada de decisão mais ágil e alinhada à capacidade real da equipe técnica. Essa melhoria refletiu em maior previsibilidade do processo, redução de gargalos e aumento da confiabilidade do serviço prestado.

A contribuição teórica deste estudo reside no avanço na aplicação da TOC a ambientes de serviços, onde as restrições são menos tangíveis e mais voláteis do que em ambientes fabris, demonstrando que os princípios da teoria podem ser adaptados com sucesso à realidade de operações técnicas hospitalares.

Do ponto de vista prático, o modelo oferece uma estrutura replicável e orientada por dados, aplicável a outros serviços com restrições operacionais bem definidas, sendo especialmente útil para organizações que lidam com variações de demanda e capacidade técnica limitada.

Como limitações deste estudo, destaca-se a ausência de um modelo de priorização das ordens com base em criticidade clínica dos equipamentos, o que poderia influenciar diretamente a lógica da corda. Além disso, os tempos médios utilizados para estimar o pulmão foram obtidos por média histórica, sem tratamento de variabilidade ou sazonalidade. O estudo também se restringiu a um único ambiente organizacional, o que limita sua generalização.

Para estudos futuros, recomenda-se o desenvolvimento de uma lógica de priorização multicritério, incluindo variáveis como criticidade dos equipamentos e perfil técnico. Adicionalmente, sugere-se a aplicação da sistemática em diferentes empresas ou setores, a fim de testar sua robustez e adaptabilidade em contextos diversos.

REFERÊNCIAS

AL-NAJJAR, B. **Total quality maintenance: an approach for continuous reduction in costs of quality products.** *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, v. 2, n. 3, p. 4-20, 1996. Disponível em: <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/13552519610130413/full/html>
Acesso em: 28 nov. 2025.

AL-NAJJAR, B. Economic criteria to select a cost-effective maintenance policy. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, v. 5, n. 3, p. 236-248, 1999. Disponível em:

<https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/13552519910282692/full/html>
Acesso em: 28 nov. 2025.

ANDERSSON, C.; BELLGRAN, M. Combining Overall Equipment Efficiency (OEE) and productivity measures as drivers for production improvements. Proceedings of the 4th Swedish Production Symposium (SPS11), Lund, 3-5 maio 2011. Disponível em: <https://portal.research.lu.se/en/publications/combining-overall-equipment-efficiency-oe-and-productivity-measu> Acesso em: 28 nov. 2025.

BACELAR-SILVA, G. M.; COX III, J. F.; RODRIGUES, P. Achieving rapid and significant results in healthcare services by using the theory of constraints. **Health Systems**, v. 13, n. 1, p. 48-61, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/20476965.2022.2115408> Acesso em: 28 nov. 2025.

BERHAN, E. Overall Service Effectiveness on Urban Public Transport System in the City of Addis Ababa. **Current Journal of Applied Science and Technology**, v. 12, n. 5, p. 1-9, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.9734/BJAST/2016/19679> Acesso em: 28 nov. 2025.

GARZA-REYES, J. A. et al. Overall equipment effectiveness (OEE) and process capability (PC) measures – a relationship analysis. **International Journal of Quality & Reliability Management**, v. 27, n. 1, p. 48-62, 2010. Disponível em: <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/02656711011009308/full/html> Acesso em: 28 nov. 2025.

GOLDRATT, E. M. *The Goal: A Process of Ongoing Improvement*. Great Barrington: **North River Press**, 1984.

GOLDRATT, E. M. *Theory of Constraints: What Is This Thing Called and How Should it Be Implemented*. Great Barrington: **North River Press**, 1990.

GOLDRATT, E. M.; COX, J. *The Goal: A Process of Ongoing Improvement*. Great Barrington: **North River Press**, 2004.

GUPTA, M. C.; BOYD, L. H. Theory of constraints: a theory for operations management. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 28, n. 10, p. 991-1012, 2008. Disponível em: [10.1108/01443570810903122](https://doi.org/10.1108/01443570810903122) Acesso em: 28 nov. 2025.

KIPPER, C. A.; MULLER, C. J. Indicadores de desempenho: implantação do OPE (Overall Process Effectiveness) em uma empresa de projetos. **Trabalho de Conclusão de Curso – Engenharia de Produção**, UFRGS, 2011. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/97474> Acesso em: 28 nov. 2025.

LEITÃO FILHO, J. K. R. et al. Análise dos métodos Drum-Buffer-Rope e Buffer Management por meio de simulação de um jogo de dados. **ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**, 44., 2024, Porto Alegre. Disponível em: https://www.abepro.org.br/biblioteca/TN_WG_411_2015_47255.pdf Acesso em: 28 nov. 2025.

NAKAJIMA, S. Introduction to Total Productive Maintenance (TPM). Cambridge, MA, **Productivity Press**, 1988.

PETERS, R. W. Measuring overall craft effectiveness: are you a takeover target for contract maintenance. **Plant Engineering**, v. 57, n. 10, p. 39-41, 2003. Disponível em: <https://plant-maintenance.com/articles/OCE1.pdf> Acesso em: 28 nov. 2025

SCHRAGENHEIM, E.; RONEN, B. Drum-Buffer-Rope Shop Floor Control. **Production and Inventory Management Journal**, v. 31, n. 3, p. 18-22, 1990.

WATSON, K. J.; BLACKSTONE, J. H.; GARDINER, S. C. The evolution of a management philosophy: the theory of constraints. **Journal of Operations Management**, v. 25, n. 2, p. 387-402, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jom.2006.04.004> Acesso em: 28 nov. 2025.

Biografia do(s) autor(es):

Luiz Felipe Bier da Silveira

Engenheiro de Produção pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Mestrando em Engenharia de Produção (Mestrado Profissional) pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Possui mais de dez anos de experiência na área de melhoria de processos, gestão operacional e resolução de problemas de gestão. Atua na MA Hospitalar, conduzindo mapeamentos de processos, diagnósticos operacionais, análise de fluxo, identificação de pontos de falha e implementação de metodologias de melhoria contínua. Tem experiência consolidada com *Service Blueprint*, FMEA, TRIZ, Teoria das Restrições, OEE, OSE e PDCA. Trabalha também com desenvolvimento de soluções analíticas e dashboards para suporte à tomada de decisão e otimização de fluxos de ordens de serviço. Suas áreas de interesse incluem gestão de operações em serviços, restrições e capacidade, produtividade, engenharia de processos e sistemas de apoio à decisão.



Artigo recebido em: 28/11/2025 e aceito para publicação em: 09/02/2026

DOI: <https://doi.org/10.14488/1676-1901.v26i2.5759>