



**Bianca Menezes Araujo**

**Modelo para apoiar a criação de uma unidade  
centralizadora de esterilização em uma rede de  
hospitais no Brasil**

**Dissertação de Mestrado Acadêmico**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção do Departamento de Engenharia Industrial da PUC-Rio.

Orientador: Prof. Luiz Felipe Roris Rodriguez Scavarda do Carmo  
Coorientadora: Prof. Thais Spiegel

Rio de Janeiro,  
junho de 2024



**Bianca Menezes Araujo**

**Modelo para apoiar a criação de uma unidade  
centralizadora de esterilização em uma rede de  
hospitais no Brasil**

Dissertação apresentada como requisito parcial  
para obtenção do grau de Mestre pelo Programa de  
Pós-Graduação em Engenharia de Produção da  
PUC-Rio.

Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo

**Prof. Luiz Felipe Roris Rodriguez Scavarda do Carmo**  
Orientador  
PUC-Rio

**Prof. Thaís Spiegel**  
Coorientadora  
UERJ

**Prof. Valter de Assis Moreno Jr**  
IBMEC

**Prof. Leonardo Luiz Lima Navarro**  
UFRJ

Rio de Janeiro, 24 de junho de 2024

Todos os direitos reservados. A reprodução, total ou parcial, do trabalho é proibida sem autorização da universidade, da autora e do orientador.

### **Bianca Menezes Araujo**

Graduou-se em Engenharia de Produção na UERJ (Universidade do Estado do Rio de Janeiro) em 2021. Mestranda em Engenharia de Produção pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio). Bolsista pelo CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico). Professora de Gestão em Saúde no IMS/UERJ e no Cepuerj. Possui experiência em Gestão de Operações em Saúde e Engenharia de Processos de Negócio, tendo participado de projetos em organizações públicas e privadas.

### Ficha Catalográfica

Araujo, Bianca Menezes

Modelo para apoiar a criação de uma unidade centralizadora de esterilização em uma rede de hospitais no Brasil / Bianca Menezes Araujo; orientador: Luiz Felipe Roris Rodriguez Scavarda do Carmo; coorientadora: Thais Spiegel. – 2024.

122 f.: il. color.; 30 cm

Dissertação (mestrado)–Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Industrial, 2024.

Inclui bibliografia

1. Engenharia Industrial – Teses. 2. Gestão de operações em saúde. 3. Processos de negócio. 4. Central de material e esterilização. 5. Rede de esterilização centralizada. I. Carmo, Luiz Felipe Roris Rodriguez Scavarda do. II. Spiegel, Thais. III. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Industrial. IV. Título.

CDD: 658.5

## **Agradecimentos**

Primeiramente agradeço aos meus pais, Raimundo e Marlene, minha eterna gratidão pelo amor incondicional, apoio constante e incentivo em todos os momentos da minha vida. Vocês sempre acreditaram no meu potencial e me deram as bases necessárias para chegar até aqui.

Aos meus irmãos, Bruna e Breno, meu sincero agradecimento pelo carinho e incentivo constantes. Cada palavra de encorajamento e cada gesto de amor foram fundamentais para a realização deste trabalho.

Ao meu companheiro, Marcelo, minhas palavras de agradecimento são poucas para expressar o quanto você foi essencial nessa caminhada. Sua paciência, apoio incondicional e amor foram fundamentais para que eu conseguisse superar os desafios e seguir adiante. Você esteve ao meu lado nos momentos de alegria e de dificuldade, e sua presença constante me deu a força necessária para concluir esta etapa. Sou imensamente grata por ter você em minha vida.

À minha filha pet, Mia, que me deu suporte emocional e carinho para enfrentar a montanha russa de emoções vividas durante a realização deste trabalho.

Aos meus orientadores, Luiz Felipe Scavarda e Thaís Spiegel, pela paciência, dedicação e ensinamentos preciosos. Suas orientações foram fundamentais para a construção deste trabalho. Agradeço pela confiança depositada em mim e pela oportunidade de aprender e crescer com vocês.

Aos meus amigos doutores, Ana Carolina Vasconcelos e Rodrigo E Alvim Alexandre, agradeço profundamente pela ajuda inestimável na construção deste trabalho. Suas sugestões, críticas construtivas e orientações foram essenciais para a melhoria e conclusão desta dissertação. A generosidade de vocês em compartilhar conhecimento e experiência foi um dos pilares que sustentaram este projeto.

Ao meu chefe, Marcelo Setta, agradeço a compreensão, apoio e flexibilidade durante este período. Sua confiança em mim e seu incentivo para que eu prosseguisse com meus estudos foram fundamentais. Agradeço também pelas oportunidades de crescimento profissional e pessoal que você me proporcionou.

Aos meus colegas de trabalho, agradeço a paciência, compreensão e colaboração nos momentos em que precisei conciliar minhas responsabilidades profissionais com os estudos. Agradeço pelo ambiente de trabalho acolhedor e pelo apoio constante, que tornaram essa jornada mais leve e gratificante. Um agradecimento especial à Luana Kin.

Aos professores, funcionários e colegas do Departamento de Engenharia Industrial da PUC Rio, agradeço o compartilhamento de conhecimento, parceria nos estudos, experiências e pelas colaborações ao longo dessa jornada. O ambiente acadêmico proporcionado por vocês foi essencial para o desenvolvimento deste trabalho. Um agradecimento especial à Esther Rodrigues e Bruna Santiago pela amizade e apoio nessa jornada.

Por fim, agradeço a todos aqueles que, de alguma forma, contribuíram para a realização desta dissertação. Cada gesto de apoio, cada palavra de incentivo e cada conselho foram valiosos e imprescindíveis para que eu alcançasse este objetivo.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

O presente trabalho também contou com apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e da Fundação Carlos Chagas Filho de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ).

## **Resumo**

Araujo, Bianca Menezes; Carmo, Luiz Felipe Roris Rodriguez Scavarda do (Orientador); Spiegel, Thaís (Coorientadora). Modelo para apoiar a criação de uma unidade centralizadora de esterilização em uma rede de hospitais no Brasil. Rio de Janeiro, 2024. 122p. Dissertação de Mestrado - Departamento de Engenharia Industrial, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Apesar dos altos gastos com saúde no Brasil, a qualidade e eficiência operacional nem sempre são alcançadas. Para lidar com essa questão, os gestores hospitalares adotaram o agrupamento de recursos hospitalares como estratégia para reduzir custos. O Centro de Materiais de Esterilização (CME) desempenha um papel crucial, recebendo e esterilizando materiais usados em outras partes do hospital. Essa atividade, embora essencial, é dispendiosa e, portanto, alvo de estudos para redução de custos. A centralização da operação de esterilização em redes é apontada na literatura como uma importante estratégia para redução de custos globais. Essa pesquisa visa desenvolver um modelo para apoiar a decisão de criação de uma unidade centralizadora de esterilização em uma rede de hospitais no Brasil. A metodologia inclui uma revisão de escopo e uma pesquisa ação. A pesquisa contribui para uma maior compreensão dos benefícios da centralização do CME, modelando processos operacionais de uma rede de quatro CME com uma análise crítica e os resultados obtidos com desenvolvimento e aplicação do modelo para definição do cenário de centralização de uma rede de hospitais. Dessa forma, observa-se os benefícios economia de escala, eficiência operacional, maior controle e rastreamento de materiais, entre outros. O modelo proposto diferencia-se dos encontrados na literatura por garantir uma otimização global ao utilizar um modelo único com dados reais. Ele permite uma tomada de decisão real para uma organização de saúde, propondo a abertura de um único CME centralizado para atender os hospitais da rede.

## **Palavras-chave**

Gestão de operações em saúde; processos de negócio; Central de Material e Esterilização; Rede de Esterilização Centralizada

## **Abstract**

Araujo, Bianca Menezes; Carmo, Luiz Felipe Roris Rodriguez Scavarda do (Advisor); Spiegel, Thaís (Co-Advisor). Model to support the creation of a centralized sterilization unit in a hospital network in Brazil. Rio de Janeiro, 2024. 122p. Dissertação de Mestrado - Departamento de Engenharia Industrial, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Despite high healthcare spending in Brazil, quality and operational efficiency are not always achieved. To deal with this issue, hospital managers adopted the pooling of hospital resources as a strategy to reduce costs. The Sterilization Centers (SC) plays a crucial role, receiving and sterilizing materials used in other parts of the hospital. This activity, although essential, is expensive and, therefore, the target of studies to reduce costs. The centralization of sterilization operations in networks is highlighted in the literature as an important strategy for reducing global costs. This research aims to develop a model to support the decision to create a centralized sterilization unit in a network of hospitals in Brazil. The methodology includes a scoping review and action research. The research contributes to a greater understanding of the benefits of SC centralization, modeling operational processes of a network of four SCs with a critical analysis and the results obtained with the development and application of the model to define the centralization scenario of a hospital network. In this way, the benefits of economies of scale, operational efficiency, greater control and tracking of materials, among others, are observed. The proposed model differs from those found in the literature by guaranteeing global optimization when using a single model with real data. It allows real decision making for a healthcare organization, proposing the opening of a single centralized SC to serve the network's hospitals.

## **Keywords**

Health operations management; business processes; Material and Sterilization Center; Centralized Sterilization Network

## Sumário

1	Introdução .....	14
1.1	Contexto da pesquisa .....	14
1.2	Objetivo da pesquisa.....	16
1.3	Relevância da pesquisa .....	17
1.4	Estrutura do documento.....	18
2	Fundamentação teórica.....	15
2.1	Gestão de operações.....	15
2.1.1	Gestão de operações em saúde .....	21
2.2	Centro de Material e Esterilização .....	23
2.2.1	Processo de esterilização .....	24
2.2.2	Desafios da CME .....	25
3	Metodologia de pesquisa .....	27
3.1	Revisão de escopo.....	27
	Etapa 1: identificação da questão de pesquisa .....	30
	Etapa 2: identificação de estudos relevantes .....	30
	Etapa 3: seleção do estudo .....	33
	Etapa 4: delinear os dados.....	34
	Etapa 5: reunir, resumir e relatar os resultados .....	35
3.2	Pesquisa-ação .....	36
4	Resultados teóricos.....	39
4.1	Resultados obtidos na revisão de escopo.....	40
4.1.1	Trabalhos com foco em viabilizar a centralização.....	42
4.1.2	Trabalhos com foco em eficiência operacional .....	44
4.2	Benefícios da centralização da operação .....	46
4.3	Modelos matemáticos com foco em minimizar custos .....	49
5	Resultados empíricos.....	53
5.1	Descrição da operação de uma rede de esterilização .....	53
5.1.1	As unidades que compõem a rede de esterilização.....	54
5.1.2	Os processos de esterilização mapeados .....	56
5.2	Desenvolvimento e aplicação do modelo matemático .....	63
5.2.1	Descrição das variáveis, parâmetros e restrições.....	63
5.2.2	Descrição da capacidade e da demanda.....	69
5.2.3	Resultados da aplicação do modelo matemático.....	74
6	Discussões.....	78

6.1	Modelo proposto <i>versus</i> modelos da literatura .....	78
6.2	<i>Trade-offs</i> para definição do nível de serviço .....	91
7	Conclusão .....	94
	Referências Bibliográficas .....	98
	Apêndice 1 – Protocolo semiestruturado das entrevistas.....	103
	Apêndice 2 - Modelo para centralização da operação de CME.....	111

## **Lista de figuras**

Figura 1 - Processo de 5 etapas da revisão de escopo .....	29
Figura 2 - PRISMA da revisão de escopo .....	34
Figura 3 - Estrutura para condução da pesquisa-ação .....	37
Figura 4 - Representação esquemática da centralização de CME .....	46
Figura 5 - Macroprocesso da operação atual.....	59
Figura 6 - Macroprocesso da gestão atual .....	62
Figura 7 - Linha do Tempo .....	81

## Lista de quadros

Quadro 1 - Localização das perguntas de pesquisa no texto .....	17
Quadro 2 - Querys testadas .....	32
Quadro 3 - Atividades das etapas da pesquisa-ação.....	38
Quadro 4 - Classificação dos artigos .....	41
Quadro 5 - Modelos matemáticos encontrados na revisão.....	50
Quadro 6 - Perfil dos hospitais .....	55
Quadro 7 - Especialidades com maior volume de cirurgias em cada hospital .....	56
Quadro 8 - Conjuntos do modelo matemático.....	63
Quadro 9 - Variáveis do modelo matemático.....	64
Quadro 10 - Parâmetros do modelo matemático .....	68
Quadro 11 - Restrições do modelo matemático.....	69
Quadro 12 - Quantidade de equipamentos por hospital.....	70
Quadro 13 - Quantidade de caixas que cabem em cada equipamento .....	70
Quadro 14 - Quantidade de ciclos por dia .....	71
Quadro 15 - Capacidade dos funcionários.....	72
Quadro 16 - Demanda anual por caixas de 2022 .....	73
Quadro 17 - Demanda diária por caixas (valor máximo diário em 2022) .....	73
Quadro 18 - Resultados do modelo matemático.....	76
Quadro 19 - Resumo dos resultados do modelo de otimização .....	77
Quadro 20 - Principais comparações entre os trabalhos .....	84
Quadro 21 - Comparação dos custos da função objetivo dos modelos .....	86
Quadro 22 - Análise comparativa das premissas adotadas entre os modelos .....	90

## **Lista de Abreviaturas e Siglas**

CME - Centro de Material e Esterilização

DMR - Dispositivo médico reutilizável

OCDE - Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico

SC - *Sterilization Centers*

# 1

## Introdução

O primeiro capítulo da dissertação inicia-se com uma introdução ao tema de pesquisa, destacando o problema e apresentando a solução proposta no contexto da gestão de operações. Os objetivos e limites do estudo são, então, expostos para mostrar onde se pretende chegar com a pesquisa e qual é o seu escopo. Posteriormente, a relevância da pesquisa é apresentada, a partir de perspectivas sociais e acadêmicas e, finalmente, a estrutura da dissertação é descrita.

### 1.1

#### Contexto da pesquisa

Segundo a Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OECD, 2021), o Brasil está na 38<sup>o</sup> posição no *ranking* de maiores despesas com saúde, *per capita*, do mundo. Sem levar em consideração quaisquer rupturas estruturais na série histórica devido à COVID-19, o modelo de projeção de gastos com a saúde da OCDE sugere que, no cenário de linha de base, esses gastos no Brasil aumentarão de 9,6% em 2019 para 12,6% do PIB em 2040 (OECD, 2021). O dilema enfrentado pela indústria de saúde se dá justamente por padrões de qualidade cada vez piores e uma forte pressão por melhoria de eficiência e produtividade (Antonelli et al., 2018; Dellve et al., 2018; Vähätalo & Kallio, 2015; De Vasconcelos Silva et al., 2022).

Ao descreverem os sistemas de saúde, Griffin et al. (2016) apontam para o papel ainda protagonista dos hospitais enquanto prestadores de serviços. Apesar da discussão da redução de custos dos sistemas de saúde através de estratégias de prevenção e promoção (Giovanella, 2018; Krohn, 2019; Silva, 2021), segue-se com um volume expressivo de unidades hospitalares que compõem a rede de saúde brasileira. De acordo com dados do Cenário dos Hospitais no Brasil (CNSaude, 2022), o número total de hospitais no Brasil é de 7191, sendo 62% de hospitais privados e

38% de hospitais públicos. Dos 4466 hospitais privados, 1833 são hospitais sem fins lucrativos e 2633 com fins lucrativos.

Segundo Vanberkel et al. (2012, pg.1), “os hospitais estão lutando com a questão de se tornar mais centralizados para obter economias de escala ou mais descentralizados para obter economias de foco”. Uma maneira que os gestores hospitalares encontraram de explorar a redução de custos se deve ao agrupamento de recursos hospitalares, como: aquisição de suprimentos médicos (Essoussi & Ladet, 2009), compra de produtos farmacêuticos (Burns & Lee, 2008) e esterilização de dispositivos médicos (Tlahig et al., 2013; Saif & Elhedhli, 2019), sendo este último o foco desta pesquisa.

O Centro de Material e Esterilização (CME) é um setor na estrutura hospitalar que representa custos altos para muitos administradores hospitalares (Daú, 2018), apesar do fato de o reprocessamento de materiais médicos ser um processo importante para manter a funcionalidade do hospital (Rüther et al., 2013). O CME é um departamento de apoio dentro de uma unidade de saúde, destinada a receber material que precisa ser esterilizado para futuras utilizações nos demais componentes do hospital, como enfermarias e salas cirúrgicas (Veiga-Malta, 2016). Do ponto de vista das operações, a atividade de esterilização desempenhada no CME é fundamental para o bom funcionamento dos cuidados de saúde e a realização de exames. No entanto, em termos de custos, essa atividade acaba sendo onerosa, já que esterilizar 0,5 m<sup>3</sup> de dispositivos médicos pode custar mais do que 250 Euros (Di Mascolo & Gouin, 2013), o que equivale a aproximadamente 1.400 Reais em valores de 7 de maio de 2024. Hospitais de países desenvolvidos, por exemplo, chegam a investir cerca de 500 milhões de Euros em equipamentos estéreis (Van de Klundert et al., 2008), equivalendo a aproximadamente 2,8 bilhões de Reais. Além de custos evitáveis, como por exemplo cirurgia cancelada, o custo médio é de R\$ 29,54 por paciente, referente aos materiais reprocessados, medicamentos e insumos, por cada cirurgia cancelada (Santos & Bocchi, 2017).

Nesse sentido, a primeira pergunta de pesquisa definida no escopo da pesquisa é PP1: Quais são os benefícios de centralizar a operação de um centro de material e esterilização?

A busca para configurar uma rede de esterilização não é nova, sendo objetivo de estudo de várias décadas (e.g., Elshafei, 1975) e de contínuo interesse para os dias de hoje (e.g., Saif & Elhedhli, 2019) em função de sua grande complexidade e relevância. Sendo assim, é importante entender como reduzir esses custos, e, por isso, a segunda pergunta de pesquisa definida é PP2: Quais os modelos matemáticos mais adequados para minimizar o custo total da rede de esterilização?

Silva (2021) destaca o fato de que cada tipo de processamento tem seu custo, logo, é crucial realizar uma análise personalizada para determinar as melhores abordagens de desinfecção, esterilização em baixa temperatura e em alta temperatura a serem adotadas em cada CME. Isso garantirá que todos os produtos utilizados na instituição sejam devidamente processados, levando em consideração suas necessidades específicas (Graziano et al., 2017).

Assim, entende-se fundamental compreender melhor os aspectos de uma operação real, e, por isso, a terceira pergunta de pesquisa definida é PP3: Como descrever uma operação real para elaboração de um modelo matemático de centralização de uma rede de esterilização?

Por esses e outros fatores, esse setor virou objeto de pesquisa (Reymondon et al., 2008; Tlahig et al., 2009; Assad et al., 2018; Rupnik et al., 2019; Kammoun et al., 2021) com foco em eficiência operacional local. No entanto, pouco se fala em uma melhoria global através da centralização dessa operação (Elshafei, 1975; Tlahig et al., 2013; Saif & Elhedhli, 2019; Saidi et al., 2021). Neste contexto, deriva-se a quarta pergunta de pesquisa PP4: Como identificar o cenário de redução de custo para uma rede de esterilização centralizada?

## 1.2

### Objetivo da pesquisa

Esse trabalho tem como objetivo principal o desenvolvimento de modelo para apoiar a decisão de criação de uma unidade centralizadora de esterilização em uma rede de hospitais no Brasil. Busca-se assim, explorar, de forma ampla, a operação de quatro Centros de Material e Esterilização desta rede e elaborar um modelo matemático para a auxiliar na escolha de qual unidade receberá a operação dos demais.

Este objetivo principal pode-se desdobrar em objetivos secundários, a saber:

OE1: Compreender os benefícios da centralização da operação do centro de material e esterilização, através de um levantamento teórico na literatura acadêmica;

OE2: Identificar modelos matemáticos existentes para minimizar o custo total da rede de esterilização, através de uma revisão de escopo;

OE3: Descrever a operação atual de quatro centros de material e esterilização, através da modelagem do processo

OE4: Elaborar um modelo matemático para definir um cenário de centralização para redução de custo

O quadro 1 apresenta a associação das perguntas de pesquisa e objetivos específicos para cada capítulo.

Perguntas de pesquisa	Objetivos específicos	Capítulo/Seção
PP1: Quais são os benefícios de centralizar a operação de um centro de material e esterilização?	OE1: Compreender os benefícios da centralização da operação do centro de material e esterilização, através de um levantamento teórico na literatura acadêmica;	4.2 - Benefícios da centralização da operação de uma rede de esterilização

PP2: Quais os modelos matemáticos mais adequados para minimizar o custo total da rede de esterilização?	OE2: Identificar modelos matemáticos existentes para minimizar o custo total da rede de esterilização, através de uma revisão de escopo;	4.3 - Modelos matemáticos para minimizar custos da rede de esterilização
PP3: Como descrever uma operação real para elaboração de um modelo matemático de centralização de uma rede de esterilização?	OE3: Descrever a operação atual de quatro centros de material e esterilização, através da modelagem do processo;	5.1 - Descrição da operação de uma rede de esterilização
PP4: Como identificar o cenário de redução de custo para uma rede de esterilização centralizada?	OE4: Elaborar um modelo matemático para definir um cenário de centralização para redução de custo	5.2 - Decisão da unidade centralizadora através do desenvolvimento e aplicação do modelo matemático

Quadro 1 - Localização das perguntas de pesquisa no texto

Fonte: Elaboração própria (2024).

### 1.3 Relevância da pesquisa

Tanto no Brasil como em diversas regiões ao redor do mundo, a indústria de saúde enfrenta um desafio significativo devido aos padrões de qualidade dos serviços prestados que se encontram abaixo do desejado. Ao mesmo tempo, há uma grande pressão para aumentar a eficiência, produtividade e reduzir os custos associados (Vähätalo & Kallio, 2015).

Nessa perspectiva, a análise do CME revela-se pertinente, uma vez que essa área desempenha um papel crucial nos hospitais, contribuindo de maneira significativa para a melhoria da qualidade dos serviços oferecidos e a redução de custos (Reymondon et al., 2008).

Apesar de ser considerada uma unidade de produção, o Centro de Materiais e Esterilização (CME) ainda não se alinha completamente com os princípios de logística, eficácia e eficiência tradicionalmente empregados na engenharia de produção (Tillvitz, 2012).

Embora os primeiros trabalhos relacionados à organização do serviço de esterilização tenham sido formalmente iniciados em 1975 com Elshafei (Saif & Elhedhli, 2019), há um número reduzido de trabalhos que tratam da centralização da operação do Centro de Material e Esterilização e desses, não há ainda nenhuma aplicação no Brasil.

Dessa forma, a análise e as propostas para o projeto das operações em uma rede de esterilização contribuem para uma compreensão aprofundada de uma área fundamental da saúde, com potencial para gerar um impacto significativo na redução de custos hospitalares.

A aproximação da Engenharia de Produção com a saúde evidencia a relevância das ferramentas da área, amplia o escopo de atuação do profissional e traz reconhecimento social para a profissão. Essa experiência enriquecedora tanto para a área da saúde quanto para a Engenharia de Produção permite vislumbrar o impacto dos esforços em uma área ainda pouco explorada. Além de abordar o objeto em questão, há também a intenção de preencher uma lacuna na literatura no que diz respeito à centralização das operações. Enquanto é possível identificar frequentes discussões sobre eficiência operacional local com projetos restritos a uma única unidade, ainda há uma carência de aplicações de projetos de operações para uma 'melhoria global' no contexto de redes de CME. Lacuna essa que será preenchida com essa pesquisa.

#### **1.4**

#### **Estrutura do documento**

A dissertação encontra-se dividida em sete capítulos, sendo este primeiro o introdutório, contendo uma breve descrição do contexto da pesquisa, a declaração dos objetivos e relevância da pesquisa. O segundo capítulo apresenta a fundamentação teórica esclarecendo os conceitos associados ao tema. As metodologias utilizadas de revisão de escopo e pesquisa-ação são descritas no capítulo 3. Em seguida, o resultado da revisão de escopo é apresentado no capítulo 4, focado em resultados teóricos. A descrição da operação real e o desenvolvimento e aplicação do modelo, para redução de custos para uma rede de esterilização

centralizada, são apresentados no capítulo 5, focado em resultados empíricos. A discussão dos resultados é apresentada no capítulo 6. Finalmente, a conclusão da pesquisa é apresentada no capítulo 7 junto com sugestões para pesquisas futuras.

## 2

### **Fundamentação teórica**

O capítulo de fundamentação teórica tem como objetivo apresentar os conceitos que embasam a condução desta pesquisa. A seção 2.1 apresenta o contexto de gestão de operações em saúde, onde a construção do modelo de operação proposto se enquadra. A seção 2.2 define e estabelece a estrutura operacional de um Centro de Material e Esterilização, que é o foco central do estudo, assim como seus desafios.

#### 2.1

##### **Gestão de operações**

De acordo com Bozarth et al. (2008), a gestão de operações consiste no planejamento, sequenciamento e controle dos processos pelos quais os inputs são transformados em produtos acabados e serviços. A gestão de operações é uma área de estudo multidisciplinar que se dedica à análise, planejamento e aprimoramento de processos relacionados ao desenvolvimento, produção, entrega e distribuição de produtos e serviços (Weiss & Gershon, 1989). A gestão de operações é importante porque estabelece uma conexão entre a eficiência operacional e a estratégia de operações. Isso significa produzir de maneira eficiente - eficiência operacional - o produto adequado que atenderá à demanda - estratégia operacional (Reid & Sanders, 2011).

Segundo Gino & Pisano (2008), o campo da gestão de operações teve seu foco inicialmente voltado para ambientes de manufatura, com destaque para Frederick Taylor no início do século XX. No entanto, ao longo do tempo, essa área passou por mudanças significativas. Tais mudanças ocorreram no ambiente de atuação, incluindo avanços tecnológicos e processos de globalização. Além disso, a própria natureza das operações foi transformada, com o surgimento de estruturas de rede, sistemas de informação e abordagens como a fabricação enxuta. O repertório de ferramentas disponíveis também se expandiu, abrangendo

planejamento de capacidade, modelos de inventário, metodologias de previsão e métodos de gerenciamento de projetos.

É importante destacar que esse campo tem ampliado seu escopo para contextos cada vez mais variados e complexos, como o contexto de serviços. A gestão das operações em serviços apresenta desafios constantes, uma vez que é necessário gerenciar simultaneamente os objetivos da organização, as necessidades dos usuários e o engajamento dos funcionários em um ambiente em constante mudança (Fitzsimmons & Fitzsimmons, 2014).

Para Hayes et al. (2008), uma estratégia de produção consiste em um conjunto de metas, políticas e restrições internamente estabelecidas que descrevem como a organização pretende direcionar e desenvolver seus recursos de produção, visando melhor cumprir sua missão e, possivelmente, redefini-la. Essa estratégia busca otimizar o uso dos recursos investidos na produção, de forma a alinhar as ações da organização com seus objetivos e promover seu crescimento e desenvolvimento contínuo.

### **2.1.1 Gestão de operações em saúde**

Quando aplicada ao contexto da saúde, a gestão de operações é essencial para garantir a utilização eficiente dos recursos disponíveis, visando fornecer serviços de saúde de qualidade aceitável, e seu foco está no provedor individual responsável pela prestação do serviço de saúde e nas competências necessárias para a produção desse serviço (Vissers & Beech, 2005). Conforme Hopp & Lovejoy (2012) afirmam, a gestão de hospitais possui uma "ciência das operações" similar à "ciência da medicina" que guia o tratamento dos pacientes. Eles destacam que princípios de gestão de fluxo, tomada de decisão, qualidade e comportamento humano podem ser aplicados nos hospitais para gerar melhorias significativas na capacidade de resposta, eficiência, qualidade

dos serviços, satisfação dos pacientes e viabilidade financeira das organizações hospitalares (Hopp & Lovejoy, 2012).

As atividades abordadas na gestão de operações em saúde envolvem diversos aspectos de planejamento estratégico, como o *design* dos serviços oferecidos, a configuração da cadeia de suprimentos, o planejamento das instalações e redes, a previsão de demanda, a avaliação e seleção de equipamentos, o dimensionamento de recursos humanos, os sistemas de estoque, a medição e gestão do desempenho e qualidade do sistema, bem como a avaliação do desempenho dos equipamentos. Além disso, é fundamental projetar e implementar sistemas de apoio à tomada de decisão que orientem todas as atividades de gestão de operações (Brandeau et al., 2004).

Segundo uma revisão sistemática da literatura realizada por Jha et al. (2016), que cobriu 177 artigos, há seis temas principais da gestão de operações em saúde, são eles: qualidade do serviço, estratégia de operações de serviço, tecnologia da informação, agendamento de serviço, desempenho do serviço e outros elementos. O tema “outros elementos” consiste em cinco subtemas: cocriação de valor, funcionários da linha de frente, satisfação do cliente, cenário de serviços e visão da rede.

De acordo com as classificações mencionadas, a presente pesquisa é classificada no tema estratégia de operações de serviço, uma vez que tem como objetivo centralizar a operação de um setor hospitalar, determinando a capacidade operacional e contribuindo para um desempenho geral da organização.

A estratégia desempenha um papel crucial na tomada de decisões operacionais, abrangendo áreas como investimento no desenvolvimento dos funcionários, infraestrutura e estrutura. Essa abordagem resulta em melhorias nas capacidades operacionais (Goldstein, 2003). A alocação estratégica de recursos organizacionais e esforços determina a capacidade operacional, que influencia diretamente o desempenho geral da organização (Goldstein & Iossifova, 2012). Internamente, a estratégia de serviço é empregada para aprimorar a capacidade organizacional

necessária para oferecer serviços, enquanto externamente, melhora a percepção do cliente sobre esses serviços (Goldstein, 2003).

McLaughlin & Hays (2008) destacam a relevância de compreender os sistemas que afetam a prestação dos cuidados para melhorar as operações em saúde. Para obter uma compreensão do sistema CME, foram realizados estudos em quatro CME, nos quais os processos foram mapeados e modelados, sendo apresentados na seção 5.1.

## **2.2**

### **Centro de Material e Esterilização**

O Centro de Material e Esterilização (CME) é uma unidade funcional destinada ao processamento de produtos para saúde dos serviços de saúde (RDC 15, 2012).

De acordo com Basu et al. (2015), um CME é descrito como um setor dentro de um hospital responsável por fornecer materiais esterilizados (chamados de dispositivos médicos reutilizáveis ou de produtos para saúde) para enfermarias, salas de cirurgia, unidades de transplante e ambulatórios. O CME tem um funcionamento semelhante ao de um estabelecimento industrial (Rabinskii, 1978) e possui atividades definidas e repetitivas de interação homem-máquina (Leite & Silva, 2008). Portanto, os CME podem aproveitar as práticas provenientes da gestão industrial para aprimorar seus sistemas de produção. Embora façam parte do contexto dos serviços de saúde, a natureza de suas operações envolve elementos típicos da indústria, como materiais a serem processados, operações manuais, operações automatizadas, estoque e armazenamento, formação de lotes e estimativas de capacidade de atendimento (Hoefel et al., 2019).

Diferentes tipos de procedimentos médicos (planejados e não planejados) são realizados nos hospitais, e cada procedimento requer certos dispositivos médicos, geralmente agrupados em caixas. Uma caixa é formada por dispositivos médicos básicos necessários para uma certa cirurgia, por exemplo uma caixa de vídeo tem os itens básicos necessários para uma cirurgia de vídeo. Não excluindo a necessidade de o médico

cirurgião solicitar outras caixas ou itens avulsos que podem ser importantes para aquela cirurgia. Para procedimentos planejados, a quantidade necessária de cada tipo de caixa pode ser determinada com um grau de certeza anteriormente, por exemplo no dia anterior. Para operações não planejadas, cada hospital tem que manter quantidades adequadas de caixas em seu arsenal de modo que seja possível atender à demanda com altíssima confiabilidade (Van de Klundert., 2008; Saif & Elhedhli, 2019).

### 2.2.1

#### **Processo de esterilização**

As atividades do CME abrangem o expurgo (recebimento, descontaminação, lavagem e separação de materiais), o preparo e acondicionamento (verificação das condições dos materiais, inspeção da limpeza e embalagem), a esterilização, o armazenamento e a distribuição dos materiais esterilizados para os demais departamentos do hospital (Costa, 2009), tornando-se assim uma unidade fundamental para garantir que todos os outros setores desempenhem suas funções de maneira segura (Gonçalves et al., 2000).

As atividades do CME desempenham um papel crítico, uma vez que instrumentos não esterilizados corretamente podem resultar em infecções perigosas para os pacientes e acarretar altos custos para o hospital. Portanto, tomar decisões adequadas nas operações do CME, evitando incidentes, contribui diretamente para a qualidade dos cuidados de saúde no ambiente hospitalar (Rüther et al., 2013).

No contexto da esterilização, os instrumentos normativos têm a finalidade de estabelecer padrões para o processamento de materiais clínicos e cirúrgicos. Leite (2008) destaca a importância da padronização de normas e rotinas técnicas para validar o processamento dos materiais e controlar infecções. A RDC 15 (2012) dispõe sobre requisitos de boas práticas para o processamento de produtos para saúde e dá outras providências. Da Veiga (2017) apresenta os instrumentos normativos utilizados no âmbito da CME.

## 2.2.2

### **Desafios da CME**

O Centro de Materiais de Esterilização (CME) desempenha um papel de extrema relevância dentro do hospital, uma vez que o seu desempenho operacional contribui significativamente na conquista de dois objetivos essenciais: aprimoramento da qualidade dos serviços prestados e redução de custos (Reymondon et al., 2008).

A partir de uma revisão integrativa de custos relacionados ao CME Silva (2021) apresenta estudos que mostraram como alguns gastos poderiam ser evitados, como por exemplo, procedimentos cirúrgicos que foram cancelados e reprocessamento dos instrumentais cirúrgicos não utilizados. Conforme estabelecido pela RDC 30 (2006), os materiais que foram abertos não podem ser simplesmente reesterilizados. É necessário que esses materiais passem por todo o processo, que começa com a limpeza e se encerra com o armazenamento adequado. Nesse contexto, é crucial estabelecer uma comunicação eficiente e uma interação harmoniosa entre as equipes do CME e do Centro Cirúrgico. Isso se deve ao fato de que a maioria dos materiais reprocessados provém de instrumentais cirúrgicos que são abertos, porém não utilizados durante o procedimento. Recomenda-se uma revisão da composição das caixas cirúrgicas, verificando cuidadosamente cada instrumento contido nelas, removendo os desnecessários e adicionando somente aqueles indispensáveis para a cirurgia específica à qual a caixa se destina (Dos Santos et al., 2017).

Alcançar um alto nível de qualidade nos serviços de esterilização hospitalar e minimizar os custos são desafios fundamentais para os provedores de cuidados de saúde. Uma abordagem para atingir esses objetivos seria otimizar a configuração dos serviços de esterilização em uma rede hospitalar (Tlahig et al., 2013).

A adoção de uma abordagem de rede hospitalar oferece oportunidades promissoras para lidar com questões de custo e qualidade. Em Lega (2005), é argumentado que a integração dos recursos disponíveis pode melhorar a eficiência e eficácia por meio de sinergias e economias de

custo. A necessidade de alocar recursos de forma eficiente nos hospitais é evidente e representa um objetivo primordial da organização em rede. Portanto, reestruturar a localização das unidades e concentrar gradualmente alguns serviços em menos locais se torna uma das principais tarefas de gestão no ambiente hospitalar (Tlahig et al., 2013).

### **3**

## **Metodologia de pesquisa**

O objetivo deste capítulo é apresentar o procedimento metodológico adotado para essa pesquisa. A abordagem utilizada nesta pesquisa é qualitativa e quantitativa, uma vez que emprega ambos os métodos para atingir seu propósito (Miguel, 2007). Em termos de natureza, trata-se de uma pesquisa aplicada, pois visa gerar conhecimento para resolver problemas específicos e práticos (Silva & Menezes, 2001). Este trabalho adota uma abordagem exploratória, cujo objetivo principal é esclarecer o problema ou desenvolver uma hipótese (Gil, 2008), normalmente com levantamento bibliográfico, entrevistas a pessoas que possuam experiência prática e análise de casos (Hart, 1998), mas também é descritiva, pois descreve as principais características de uma determinada população ou fenômeno usando uma forma padronizada de coleta de dados (Gil, 2008). Por fim, os procedimentos técnicos utilizados na presente pesquisa são a revisão de escopo (Arksey & O'Malley, 2005) e a pesquisa-ação (Coughlan & Coughlan, 2002).

Para responder a PP1 e PP2 foi realizada uma revisão de escopo seção 3.1, para que se pudesse identificar e descrever estudos relacionados a centralização de operações de CME e soluções de eficiência operacional locais que poderiam contribuir para um projeto de centralização. Além de fazer o levantamento dos modelos matemáticos mais adequados para minimizar o custo total da rede de esterilização. A seção 3.2 contempla a descrição do segundo método adotado, a pesquisa-ação, descrevendo cada etapa conduzida até a obtenção dos resultados, que visa responder a PP3 e PP4.

### **3.1**

#### **Revisão de escopo**

A revisão de escopo é um dos métodos de pesquisa utilizados para revisar a literatura buscando o levantamento do estado da arte. O objetivo principal é realizar um mapeamento rápido dos conceitos-chave que

fundamentam uma determinada área de pesquisa, bem como identificar as principais fontes e tipos de evidências disponíveis (Mays et al., 2001). Segundo Grant & Booth (2009): “esse tipo de revisão fornece uma avaliação preliminar do tamanho potencial e do escopo da literatura de pesquisa disponível. Destina-se a identificar a natureza e a extensão das evidências de pesquisa (geralmente incluindo pesquisas em andamento).” Neste sentido, é a metodologia adotada para a presente pesquisa, que é organizada de acordo com as cinco etapas descritas por Arksey & O'Malley (2005) ilustradas na Figura 1.

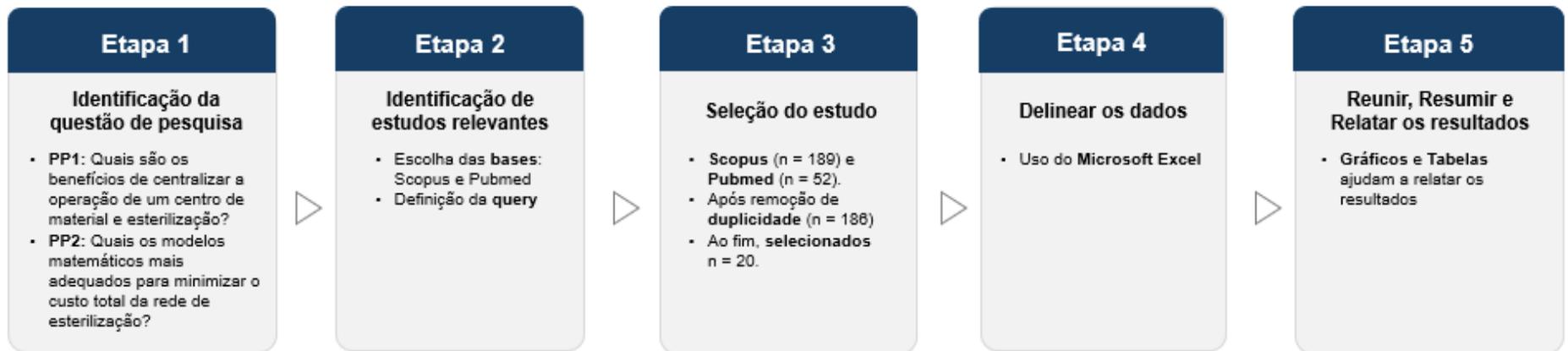


Figura 1 - Processo de 5 etapas da revisão de escopo

Fonte: Elaboração própria (2024).

## Etapa 1: identificação da questão de pesquisa

A primeira etapa busca identificar a questão de pesquisa com base no problema de pesquisa descrito no capítulo introdutório desta dissertação e que está relacionado a PP1 e PP2. A equipe de pesquisa é composta por pesquisadores com experiência em gerência de operações com interface na indústria de saúde.

## Etapa 2: identificação de estudos relevantes

A segunda etapa tem como objetivo identificar os estudos relevantes que respondem à questão de pesquisa. Para isso, primeiramente foram definidas as bases de dados, os termos de pesquisa, resultando na query, e o uso de filtros.

Durante o processo de seleção das bases de dados, foi definida a utilização da Pubmed e Scopus, dado ao fato de apresentarem a maior cobertura de periódicos da área biomédica (Falagas et al., 2008; Puccini et al., 2015). A Scopus (produto da Elsevier) é frequentemente considerada como uma das maiores bases de dados abrangendo revistas científicas, livros, atas de conferências etc. (Singh et al., 2021). O guia de cobertura de conteúdo do Scopus indica que ele contém mais de 90 milhões de registros (Elsevier, 2023). A Pubmed compreende mais de 35 milhões de citações e resumos da literatura biomédica, segundo o próprio site. Além de apresentar uma interface elaborada "à medida" das necessidades de busca de informações biomédicas, clínicas e de saúde (Andalia et al., 2015).

Foram conduzidas diversas pesquisas com o intuito de encontrar uma consulta que proporcionasse resultados satisfatórios em relação a pergunta de pesquisa. As *queries* testadas se encontram no Quadro 2.

Pubmed		Scopus	
((centralization[Title/Abstract]) OR (centralisation[Title/Abstract])) AND (operations[Title/Abstract])	148	("centrali?ation" AND "operations")	1329
((centralization[Title/Abstract]) OR (centralisation[Title/Abstract])) AND (operations[Title/Abstract]) AND (central sterile supply department[Title/Abstract])	0	("centrali?ation" AND "operations" AND "central sterile supply department")	0

((centralization[Title/Abstract]) OR (centralisation[Title/Abstract])) AND (healthcare planning and management operations[Title/Abstract]) AND (central sterile supply department[Title/Abstract])	0	("centrali?ation" AND "healthcare planning and management operations" AND "central sterile supply department")	0
(healthcare planning and management operations[Title/Abstract]) AND (central sterile supply department[Title/Abstract])	0	("healthcare planning and management operations" AND "central sterile supply department")	0
(hospital sterilization[Title/Abstract]) AND (operations[Title/Abstract])	1	("hospital sterilization" AND "operations")	12
((centralization[Title/Abstract]) OR (centralisation[Title/Abstract])) AND (hospital sterilization[Title/Abstract]) AND (operations[Title/Abstract])	0	("hospital sterilization" AND "centrali?ation" AND "operations")	0
((centralization[Title/Abstract]) OR (centralisation[Title/Abstract]) OR (centralized[Title/Abstract])) AND (supply chain operations[Title/Abstract])	0	((("centrali?ation" OR "centralized" ) AND "supply chain operations" )	48
((supply chain operations[Title/Abstract]) AND (hospital[Title/Abstract]))	2	("supply chain operations" AND "hospital")	19
((centralization[Title/Abstract]) OR (centralisation[Title/Abstract]) OR (centralized[Title/Abstract])) AND (central sterile supply department[Title/Abstract])	0	("centrali?ation" AND "central sterile supply department" )	1
((centralization[Title/Abstract]) OR (centralisation[Title/Abstract])) AND (hospital sterilization[Title/Abstract])	0	("centrali?ation" AND "hospital sterilization" )	2
((centralization[Title/Abstract]) OR (centralisation[Title/Abstract]) OR (centralized[Title/Abstract])) AND (hospital sterilization[Title/Abstract])	0	((("centrali?ation" OR "centralized" ) AND "hospital sterilization" )	5
((centralization[Title/Abstract]) OR (centralisation[Title/Abstract]) OR (centralized[Title/Abstract])) AND (central sterilization service[Title/Abstract])	0	((("centrali?ation" OR "centralized" ) AND "central sterilization service" )	5
((centralization[Title/Abstract]) OR (centralisation[Title/Abstract]) OR (centralized[Title/Abstract])) AND ((central sterilization service[Title/Abstract]) OR (hospital sterilization[Title/Abstract]))	0	((("centrali?ation" OR "centralized") AND ("central sterilization service" OR "hospital sterilization"))	10
((centralization[Title/Abstract]) OR (centralisation[Title/Abstract]) OR (centralized[Title/Abstract])) AND (sterilization service[Title/Abstract])	1	((("centrali?ation" OR "centralized" ) AND "sterilization service" )	17
((centralization[Title/Abstract]) OR (centralisation[Title/Abstract]) OR (centralized[Title/Abstract])) AND ((central sterilization service[Title/Abstract]) OR (hospital sterilization[Title/Abstract]) OR (sterilization service[Title/Abstract]))	1	((("centrali?ation" OR "centralized") AND ("central sterilization service" OR "hospital sterilization" OR "sterilization service"))	21
((centralization[Title/Abstract]) OR (centralisation[Title/Abstract]) OR	51	((("centrali?ation" OR "centralized" ) AND "sterilization" )	179

(centralized[Title/Abstract]) AND (sterilization[Title/Abstract])			
((centralization[Title/Abstract]) OR (centralisation[Title/Abstract]) OR (centralized[Title/Abstract]) OR (externalization[Title/Abstract])) AND (sterilization[Title/Abstract])	52	(("centrali?ation" OR "centralized" OR "externalization") AND "sterilization" )	189
((centralization[Title/Abstract]) OR (centralisation[Title/Abstract]) OR (centralized[Title/Abstract]) OR (externalization[Title/Abstract])) AND ((sterilization[Title/Abstract]) OR (central sterilization service[Title/Abstract]) OR (hospital sterilization[Title/Abstract]) OR (sterilization service[Title/Abstract]))	52	("centrali?ation" OR "centralized" OR "externalization") AND ("sterilization" OR "central sterilization service" OR "hospital sterilization" OR "sterilization service")	189

Quadro 2 - Querys testadas

Fonte: Elaboração própria (2024).

A *query* utilizada foi: ("centrali?ation" OR "centralized" OR "externalization") AND ("sterilization" OR "central sterilization service" OR "hospital sterilization" OR "sterilization service"). Essa *query* foi escolhida por trazer resultados significativos, já que as anteriores traziam poucos resultados. Vale destacar que essa *query* não se restringe a responder especificamente uma das perguntas, mas sim ambas, uma vez que aborda tanto o tema centralização de onde foram extraídos os benefícios (para responder a PP1) e os modelos matemáticos existentes (para responder a PP2).

A pesquisa foi realizada em 21 de fevereiro de 2023. A base Scopus retornou 189 resultados, enquanto a Pubmed retornou 52, somando um total de 241 resultados. O parâmetro de procura foi pelos títulos, resumos e palavras-chave dos documentos na Scopus, enquanto na Pubmed somente títulos e resumos. Todos os títulos foram analisados, de forma que não se fez necessária a adoção de filtros automáticos das bases. Primeiramente foram removidos os artigos em duplicidade (55), restando um total de 186 artigos.

### **Etapa 3: seleção do estudo**

A terceira etapa é de seleção do estudo. Durante a análise inicial, ao examinar os títulos dos estudos, verificou-se que havia uma quantidade significativa de estudos não pertinentes ao CME, o que demandou a exclusão dessas fontes. Do total coletado (n=186), foram removidos 100 artigos, com os critérios: abordagem assistencial (n = 33), Descarte de resíduos (n = 8), Descontaminação em ambientes (n = 3), Esterilização cirúrgica (n = 9), Qualidade do ar (n = 2), Segurança do trabalho (n = 4), Foco técnico (n = 13), Tratamento de água (n = 8), Outros (n = 20). O restante (n = 86) foi levado para a próxima etapa: leitura dos resumos. Destes, foram removidos aqueles que não tratavam da questão principal da pesquisa (n = 59), a partir dos seguintes critérios:

- Custo de material (n = 3),
- Diretrizes/boas práticas (n = 3),
- Foco técnico (n = 3),
- O foco não é CME (n = 4),
- Organização do trabalho (n = 11),
- Segurança do trabalho (n = 1),
- Não disponível (n = 34).

Restando 27 artigos para a próxima etapa, foi conduzida a leitura completa dos artigos. Na etapa de leitura completa, apenas 15 artigos foram considerados para a revisão, pois 1 deles tinha foco somente no reprocessamento de endoscópios, enquanto 2 eram editoriais, ou seja, só apresentavam uma opinião dos autores e 9 não estavam disponíveis.

Com a lista de referência dos textos da leitura completa foi possível obter mais estudos relevantes para a pesquisa. Foram adicionados 5 artigos por *snowball* (Thomé et al., 2016), totalizando 20 artigos aptos para esta revisão. O PRISMA apresentado na Figura 2 representa esse processo de exclusão.

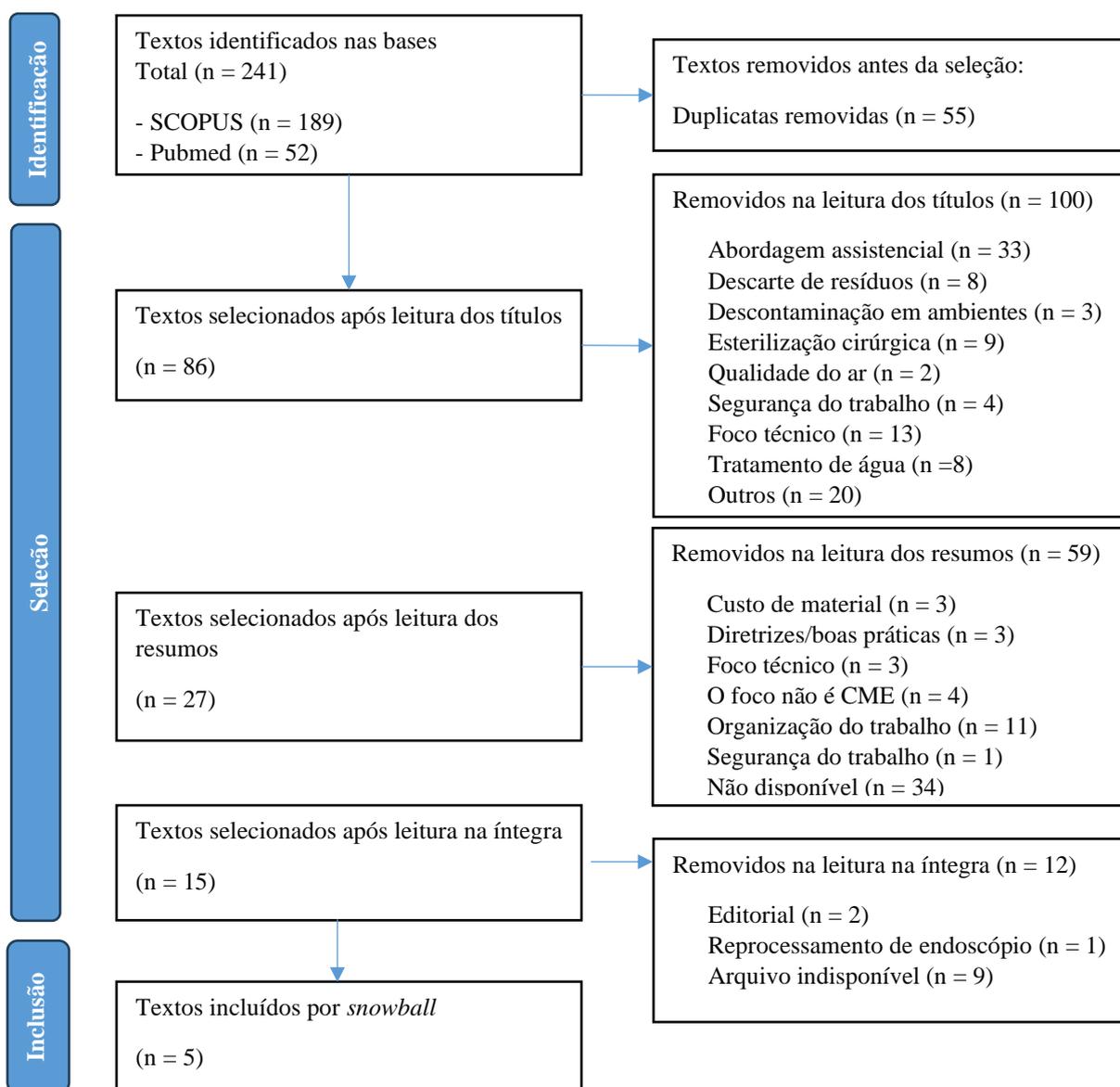


Figura 2 - PRISMA da revisão de escopo

Fonte: Elaboração própria (2024).

#### Etapa 4: delinear os dados

Na etapa 4, deve-se delinear os dados, apresentando as informações gerais e específicas do estudo. Para esta etapa foi construído um banco de dados no Microsoft Excel a fim de mapear as principais informações de cada artigo e categorizá-los, utilizando a abordagem de análise de conteúdo. A análise de conteúdo é um método científico que consiste em uma análise resumida e quantitativa de mensagens, não sendo limitada quanto aos tipos de variáveis que pode ser medido ou o contexto em que as mensagens são criadas ou apresentadas (Neuendorf, 2002). Essa

abordagem oferece aos pesquisadores a capacidade de selecionar, filtrar e resumir grandes volumes de dados, o que facilita a análise das informações (Gao, 1996). Além disso, ela é uma técnica sistemática que pode ser replicada por outros pesquisadores, pois se baseia em regras explícitas (Weber, 1990).

Na etapa de coleta de dados, foram registradas várias informações dos artigos selecionados. Essas informações incluíram o(s) autor(es), título do artigo, ano de publicação, nome da revista em que foi publicado, quantidade de estudos que o citaram, resumo, tipo de documento, idioma original, principais pontos-chave, objetivo da pesquisa, método utilizado, se foram utilizados dados reais ou teóricos, país em que o estudo foi realizado, principais resultados obtidos e se a operação do estudo é centralizada ou fragmentada.

Com o intuito de organizar e categorizar os dados, foram estabelecidas algumas categorias. A primeira categoria foi o foco da pesquisa, que envolveu a análise da centralização da operação ou da eficiência operacional. A segunda categoria foi a abordagem metodológica adotada nos estudos, classificando-os como qualitativos, quantitativos ou quali-quantitativos. A terceira categoria foi o tipo de pesquisa realizada, podendo ser descritiva, prescritiva ou preditiva. Por fim, a quarta categoria foi o gênero dos estudos, classificando-os como teóricos, aplicados ou teórico-aplicados.

Essas informações forneceram uma base sólida para a análise dos estudos e contribuíram para o desenvolvimento dos resultados da revisão.

### **Etapa 5: reunir, resumir e relatar os resultados**

Na etapa 5, é o momento de reunir, resumir e relatar os resultados. Na sequência são apresentados quadros que resumem o estudo desta revisão, assim como também são apresentadas e discutidas as informações extraídas desses artigos. São 20 artigos que foram classificados nas categorias: foco da pesquisa (centralização da operação ou eficiência operacional), abordagem (qualitativa, quantitativa ou quali-

quanti), tipo (descritiva, prescritiva ou preditiva) e gênero (teórico, aplicado ou teórico-aplicado), conforme descrito na seção 4.1.

### **3.2 Pesquisa-ação**

A pesquisa-ação foi adotada como abordagem metodológica por dois motivos fundamentalmente. O primeiro deles é que o problema abordado neste estudo é caracterizado por uma abordagem exploratória na qual ações e resultados interagem e se misturam. O segundo motivo é que a pesquisadora está inserida na organização onde será aplicado o projeto e em colaboração direta com os profissionais da instituição para desenvolver a solução para o problema em questão, logo, a pesquisa ação é a metodologia mais apropriada para este trabalho. A pesquisa-ação possui características distintas, incluindo a pesquisa em ação, em vez de pesquisa sobre ação; a participação ativa, a ocorrência simultânea à ação e a utilização de uma sequência de eventos e abordagens para solucionar problemas. Além disso, a pesquisa-ação é particularmente apropriada quando o objetivo é compreender o processo de mudança ou aprimoramento (Coughlan & Coughlan, 2002). A transferibilidade dos resultados para outros cenários é o principal critério de validade da pesquisa-ação (Westbrook, 1995). A estrutura para condução da pesquisa-ação é apresentada na Figura 3.

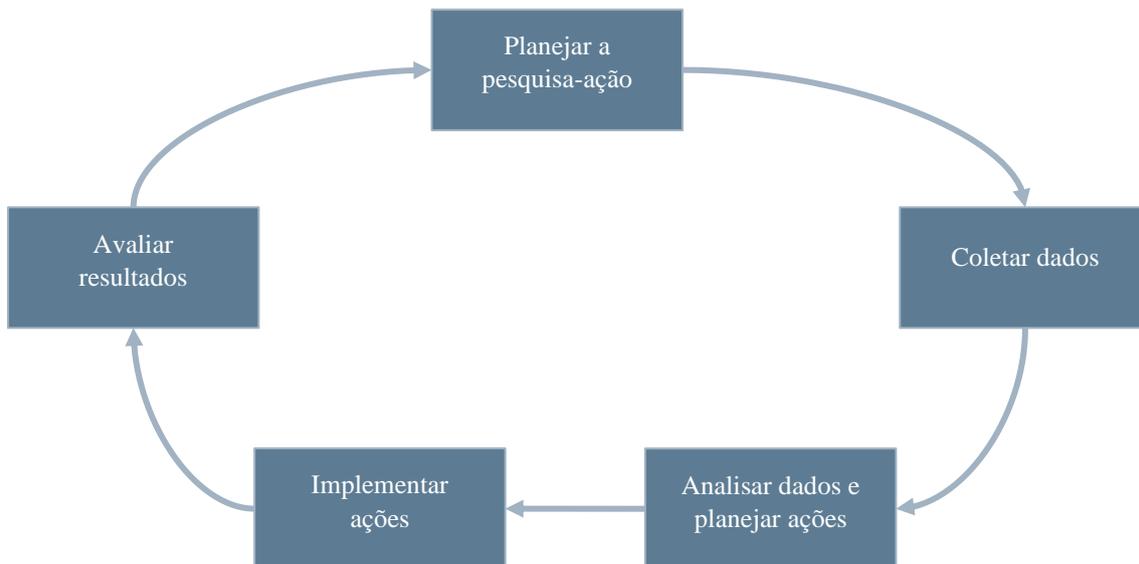


Figura 3 - Estrutura para condução da pesquisa-ação

Fonte: adaptado de Westbrook (1995) e Coughlan e Coughlan (2002).

Na presente pesquisa, o objetivo foi explorar, de forma ampla, a operação de quatro Centros de Material e Esterilização, desenvolver e aplicar um modelo para apoiar a decisão de criação de uma unidade centralizadora de esterilização em uma rede de hospitais no Brasil. Durante um período de 12 meses (janeiro a dezembro de 2023), a pesquisadora desenvolveu o projeto de forma gradual e interagiu com a operação (ou seja, técnicos de enfermagem, enfermeiras, supervisoras) e a alta gestão (gerentes, diretor médico, diretor regional, vice-presidente, presidente) para coletar informações e validar o modelo de solução proposto. Em um primeiro momento, foram realizadas entrevistas semiestruturadas e visitas técnicas in loco a fim de compreender e descrever a operação atual com o intuito de testar e comparar cenários de centralização a posteriori. O protocolo semiestruturado com a descrição das entrevistas é apresentado no apêndice 1.

Durante os meses seguintes, houve troca de informações entre a pesquisadora e a equipe de referência técnica da empresa e, simultaneamente, o modelo matemático foi criado e adaptado para a realidade da empresa, usando a linguagem de programação Python, definindo-se assim o cenário de centralização.

Durante todo o processo, o modelo foi apresentado de forma contínua à empresa, buscando validar e identificar os ajustes necessários. Enquanto última etapa da pesquisa-ação, a presidência da empresa avaliou a versão final do modelo proposto. Para obter *feedback* e novos *insights* dos gestores da empresa sobre os resultados dessa pesquisa-ação, foi realizada uma sessão de validação.

As atividades realizadas em cada etapa, assim como as respectivas entregas estão detalhadas no quadro 3.

Etapas	Atividades	Entregas
Planejar a pesquisa-ação	Planejamento das fases e entregas da pesquisa	Cronograma da pesquisa
Coletar dados	Criação do instrumento e realização de entrevistas semiestruturadas e de visitas técnicas in loco na operação	Protocolo semiestruturado e descrição das entrevistas
Analisar dados e planejar ações	Análise dos dados coletados, criação e adaptação do modelo matemático para a realidade da empresa	Tabelas síntese de descrição da operação e modelo matemático em linguagem python
Implementar ações	Interações e discussões frequentes com alta gestão, buscando validar e identificar os ajustes necessários	Apresentações intermediárias do modelo em construção
Avaliar resultados	Sessão de validação do modelo	Apresentação final do modelo e dos resultados dos cenários

Quadro 3 - Atividades das etapas da pesquisa-ação

Fonte: Elaboração própria (2024).

Com isso, as seguintes perguntas de pesquisa e objetivos específicos serão respondidos através da pesquisa-ação:

PP3: Como descrever uma operação real para elaboração de um modelo matemático de centralização de uma rede de esterilização?

OE3: Descrever a operação atual de quatro centros de material e esterilização, através da modelagem do processo;

PP4: Como identificar o cenário de redução de custo para uma rede de esterilização centralizada?

OE4: Elaborar um modelo matemático para definir um cenário de centralização

## 4

### Resultados teóricos

O capítulo 4 tem como intuito apresentar os resultados da revisão de escopo dividido em três seções.

A seção 4.1 apresenta os resultados obtidos através da revisão de escopo e sua classificação quanto a abordagem, tipo de pesquisa, gênero e foco da pesquisa.

A seção 4.2 dedica-se a abordar os benefícios da centralização e corresponde, portanto, a seguinte pergunta de pesquisa e ao seguinte objetivo específico:

PP1: Quais são os benefícios de centralizar a operação de um centro de material e esterilização?

OE1: Compreender os benefícios da centralização da operação do centro de material e esterilização, através de um levantamento teórico na literatura acadêmica;

Já a seção 4.3 dedica-se a abordar os modelos matemáticos encontrados na literatura que permitem minimizar os custos da rede de esterilização e corresponde, portanto, a seguinte pergunta de pesquisa e ao seguinte objetivo específico:

PP2: Quais os modelos matemáticos mais adequados para minimizar o custo total da rede de esterilização?

OE2: Identificar modelos matemáticos existentes para minimizar o custo total da rede de esterilização, através de uma revisão de escopo;

## 4.1

### Resultados obtidos na revisão de escopo

Dos 20 artigos, 11 têm como foco de pesquisa a eficiência operacional e aqui foram incluídos aqueles que apresentaram uma melhoria local, que apesar de não responderem à pergunta de pesquisa, podem contribuir com ferramentas para o planejamento da operação após a centralização. Esses resultados são apresentados na seção 4.2. Os 9 demais artigos têm como foco de pesquisa a centralização da operação e permitem, portanto, responder a PP1. Esses artigos estão subdivididos em centralização intra hospitalar ( $n = 4$ ) e inter hospitalar ( $n = 5$ ), sendo esses últimos referentes ao tema de interesse da pesquisa (centralização de rede) permitindo, então, responder a PP2.

Essa diferença é descrita por Tlahig et al. (2013): “A primeira configuração (centralização intra hospitalar) é denominada serviço de esterilização distribuída, onde cada hospital realiza internamente suas atividades de esterilização em suas dependências, independentemente dos outros hospitais; enquanto que a segunda (centralização inter hospitalar) é denominada serviço centralizado de esterilização onde todos os hospitais da rede optam pelo compartilhamento dos recursos comuns solicitados pelos serviços de esterilização, agrupando-os em um Serviço Central de Esterilização”.

A respeito da classificação de abordagem, há um maior volume de abordagem quantitativa ( $n = 12$ ) utilizando métodos de pesquisa operacional, como otimização ( $n = 9$ ) e simulação ( $n = 3$ ). Enquanto em abordagem qualitativa ( $n = 5$ ) foram utilizados os métodos de projeto de instalações e entrevistas. Na abordagem quali-quantitativa ( $n = 3$ ), há artigos utilizando reengenharia de processos e solução de software baseado em modelagem de processos. No Quadro 4, é possível observar a quantidade dos artigos nas demais classificações.

		<b>Quantidade</b>	<b>Autores</b>
<b>Abordagem</b>	<b>Qualitativa</b>	5	Rabin'kiï (1978); Gautier-Rubio et al. (2006); Song & Zheng (2016); Costa et al. (2021); Kammoun et al. (2021)
	<b>Quantitativa</b>	12	Elshafei (1975); Fineman & Kapadia (1978); Di Mascolo et al. (2006); Van de Klundert (2008); Reymondon et al. (2008); Cong et al. (2009); Tlahig et al. (2009); Ozturk et al. (2010); Tlahig et al. (2013); Rupnik et al. (2019); Saif & Elhedhli (2019); Saidi et al. (2021)
	<b>Quali-quantitativa</b>	3	Bernard & Lacroix (2001); Findik et al. (2017); Dursun et al. (2022)
<b>Tipo de pesquisa</b>	<b>Descritiva</b>	4	Rabin'kiï (1978); Song & Zheng (2016); Costa et al. (2021); Kammoun et al. (2021)
	<b>Prescritiva</b>	16	Elshafei (1975); Fineman & Kapadia (1978); Bernard & Lacroix (2001); Di Mascolo et al. (2006); Gautier-Rubio et al. (2006); Van de Klundert (2008); Reymondon et al. (2008); Cong et al. (2009); Tlahig et al. (2009); Ozturk et al. (2010); Tlahig et al. (2013); Findik et al. (2017); Rupnik et al. (2019); Saif & Elhedhli (2019); Saidi et al. (2021); Dursun et al. (2022)
	<b>Preditiva</b>	0	
<b>Gênero</b>	<b>Teórico</b>	4	Fineman & Kapadia (1978); Rabin'kiï (1978); Bernard & Lacroix (2001); Van de Klundert (2008)
	<b>Aplicado</b>	6	Gautier-Rubio et al. (2006); Cong et al. (2009), Song & Zheng (2016); Costa et al. (2021); Kammoun et al. (2021); Dursun et al. (2022)
	<b>Teórico-aplicado</b>	10	Elshafei (1975); Di Mascolo et al. (2006); Reymondon et al. (2008); Tlahig et al. (2009); Ozturk et al. (2010); Tlahig et al. (2013); Findik et al. (2017); Rupnik et al. (2019); Saif & Elhedhli (2019); Saidi et al. (2021)
<b>Foco da pesquisa</b>	<b>Centralização da operação</b>	9	Elshafei (1975); Rabin'kiï (1978); Bernard & Lacroix (2001); Gautier-Rubio et al. (2006); Tlahig et al. (2009); Tlahig et al. (2013); Saif & Elhedhli (2019); Costa et al. (2021); Saidi et al. (2021)
	<b>Eficiência operacional</b>	11	Fineman & Kapadia (1978); Di Mascolo et al. (2006); Van de Klundert (2008); Reymondon et al. (2008); Cong et al. (2009); Ozturk et al. (2010); Song & Zheng (2016); Findik et al. (2017); Rupnik et al. (2019); Kammoun et al. (2021); Dursun et al. (2022)

Quadro 4 - Classificação dos artigos

Fonte: Elaboração própria (2024)

Os resultados obtidos foram categorizados em dois grupos principais: trabalhos com o objetivo de viabilizar a centralização (seção 4.1.1) e trabalhos com o objetivo de melhorar a eficiência operacional (seção 4.1.2). Dentro de cada grupo, os artigos foram organizados em ordem cronológica para fornecer uma visão do avanço do tema ao longo dos anos.

#### 4.1.1

##### **Trabalhos com foco em viabilizar a centralização**

Apesar de haver muitos estudos com problemas de localização-alocação em diferentes indústrias na literatura (Cooper, 1963; Campbell, 1994; Arabani & Farahani, 2012; Sadeghi et al., 2023), o primeiro estudo a discutir um problema de localização-alocação para um CME foi Elshafei (1975), com o objetivo de selecionar a localização, tamanho e número ideal de CME necessários para abastecer os hospitais do Birmingham Regional Hospital Board, no Reino Unido. Foram considerados 9 locais e os CME estabelecidos destinavam-se a abastecer um grupo de 200 hospitais com os dispositivos médicos reutilizáveis estéreis (DMR) utilizados em blocos operatórios, diferentes enfermarias e departamentos. O problema resultou em mais de uma solução global ótima.

Alguns anos depois, Rabinskii (1978) ressaltou a importância da centralização dos serviços de fornecimento de equipamentos médicos estéreis e comparou seu funcionamento ao de um setor da indústria, apesar de não ter trazido uma aplicação para uma operação centralizada de CME. O autor destacou que uma central de esterilização trata um volume muito maior de equipamentos, ao contrário de um departamento de esterilização centralizado. Logo, podemos ver que na década de 70 já havia uma discussão entre quais são as diferenças entre uma central de esterilização e um departamento de esterilização centralizado.

Duas décadas após, Bernard & Lacroix (2001) trouxe um projeto de reestruturação da CME do Hospital Lévéque em Bordeaux (França) através de cálculo de carga, análise de risco e análise de conformidade com as boas práticas. Nessa oportunidade, ele propôs uma aplicação de

centralização intra hospitalar, partindo de vários departamentos de esterilização para uma única central dentro de um hospital. Na mesma época, Gautier-Rubio et al. (2006) trouxe uma aplicação inter-hospitalar. A partir de um projeto de instalações, ele apresenta e explica as principais fases que levaram ao desenho do novo departamento de esterilização de três hospitais do grupo hospitalar Pellegrin. Porém, o artigo apenas traz as fases do projeto de layout e não aborda a implementação e os ganhos que obtiveram com a centralização da operação.

Em seguida, Tlahig et al. (2009) desenvolveu um estudo intra-hospitalar com o objetivo de decidir se os serviços de esterilização deveriam ser realizados centralmente ou dentro de cada ala do hospital. O autor utiliza uma abordagem iterativa em duas etapas onde na primeira etapa foi determinada a configuração ótima que minimiza o custo da atividade de esterilização, enquanto na segunda etapa foi otimizado o tamanho de cada CME do hospital. Porém, em seu estudo, Saif & Elhedhli (2019) destacou que a abordagem utilizada por Tlahig et al. (2009) não poderia garantir uma otimização global, uma vez que os problemas de localização-alocação e capacidade foram resolvidos separadamente.

Anos depois, Tlahig et al. (2013) trouxe uma discussão de configuração do serviço de esterilização em múltiplos hospitais. O foco do estudo foi encontrar a melhor escolha entre as duas alternativas de configuração do serviço de esterilização em uma rede hospitalar: (1) um serviço de esterilização distribuído; (2) um serviço centralizado de esterilização. Para a segunda alternativa, também devem ser determinados o local e o dimensionamento do serviço de esterilização comum. A partir de um problema de otimização de programa inteiro misto determinístico multiperíodo, o objetivo foi minimizar o custo total do serviço de esterilização que inclui o custo de transporte, o custo do processo de esterilização e os custos de transferência e armazenamento.

Porém, a abordagem é prática apenas para redes de poucos hospitais. Alguns anos depois, Saif & Elhedhli (2019) propôs uma abordagem alternativa à apresentada em Tlahig et al. (2013) para projetar

uma rede de esterilização que atenda a uma rede hospitalar. Saif & Elhedhli (2019) compara três esquemas para organizar a esterilização de DMR em um grupo de hospitais, através de um problema de minimização côncava inteiro misto com restrições lineares e côncavas.

Dois anos depois, Costa et al. (2021) analisou as estratégias utilizadas pelas enfermeiras para organização e planejamento no processo de centralização, intra hospitalar, do CME em um Hospital Geral em Petrópolis, Brasil. Por meio de entrevistas, buscou expor os desafios da equipe de enfermagem para reorganizar a CME, enquanto unidade autônoma, de forma a contribuir com as lideranças que pretendem centralizar as atividades de esterilização em outras unidades hospitalares.

O estudo mais recente encontrado na revisão foi o de Saidi et al. (2021), que já considera uma centralização da operação de CME inter hospitalar e fornece um modelo matemático para projetar viagens logísticas entre a rede de hospitais e o centro de esterilização. O objetivo do modelo de programação de inteiros mistos proposto é minimizar os custos de transporte ao coletar dispositivos médicos reutilizáveis contaminados e distribuir os estéreis entre a central de material e esterilização centralizada e os demais hospitais da rede.

#### 4.1.2

##### **Trabalhos com foco em eficiência operacional**

Alguns resultados da revisão trouxeram artigos com aplicações relevantes para manter e melhorar os processos de uma CME centralizada, apesar de não abordarem a centralização de forma direta.

O primeiro estudo identificado foi o de Fineman & Kapadia (1978), que determinou as necessidades de estoque de DMRs para manter um hospital. Através de sua análise, classificou o nível de exigência de fornecimento de DMRs de acordo com sua frequência de uso e requisitos de pré-embalagem. Mais de duas décadas depois, com um modelo de simulação, Di Mascolo et al. (2006) conseguiu redução no tempo de

permanência dos materiais na CME após distribuir as chegadas de material para melhorar o desempenho do sistema. Na mesma linha, Van de Klundert (2008) discutiu os problemas de otimização do fluxo de DMRs que ocorrem entre o departamento de esterilização e a sala de cirurgia. Para ele, esses problemas devem ser resolvidos ao redesenhar processos para melhorar a disponibilidade de material e reduzir os custos, através de um problema de localização-transporte como um programa inteiro misto determinístico.

No mesmo ano, Reymondon et al. (2008) desenvolveu um estudo com o objetivo de propor uma redução de custos através de uma definição de novas estratégias de agrupamento de DMRs, de forma a agrupar itens que possam ser usados em mais de um procedimento. Um ano após, Cong et al. (2009) usou uma simulação de modelo genérico para comparar o desempenho de vários serviços de esterilização e em seguida, Ozturk et al. (2010) explorou oportunidades para um melhor agrupamento de conjuntos de DMR para a etapa de lavagem em um serviço de esterilização através de um problema de agendamento em lote em que os conjuntos DMR podem ter tamanhos diferentes e datas de liberação diferentes para lavagem. Foi visto que, no caso de chegadas regulares de DMR, seria possível ganhar de meia hora a quase uma hora por dia.

Alguns anos depois, com uma aplicação na Turquia, Findik et al. (2017) desenvolveu uma solução de software baseada em aplicativo para rastreamento de instrumental cirúrgico. Os ganhos com o aplicativo foram vários, dentre eles: acompanhamento e gerenciamento dos instrumentais cirúrgicos de forma mais fácil, além de conseguir acompanhar indicadores através dos relatórios de uso dos instrumentais. A solução trouxe alto desempenho, flexibilidade e dinamismo com sua arquitetura projetada para processar os dados do sistema de forma rápida e eficaz.

Mais recentemente, Rupnik et al. (2019) analisou a viabilidade de um processo redesenhado com base na carga de trabalho esperada para cada posto. O último estudo identificado foi o de Dursun et al. (2022), que propôs um novo desenho de processo com o objetivo de obter padronização em todos os níveis da central de esterilização. Além disso,

foi desenvolvida uma solução de ERP para automatizar as tarefas e rastrear o fluxo de informações.

## 4.2 Benefícios da centralização da operação

Com a revisão da literatura, foi possível encontrar 9 artigos com foco na centralização da operação do CME que permitem responder a PP1.

A RDC 15 (2012) define um centro de material e esterilização de funcionamento centralizado como “unidade de processamento de produtos para saúde que atende a mais de um serviço de saúde do mesmo gestor”.

Tlahig et al. (2013) define como "serviço centralizado de esterilização" quando todos os hospitais da rede optam pelo compartilhamento dos recursos comuns solicitados pelos serviços de esterilização, agrupando-os em uma Central de Esterilização.

Segundo Saif & Elhedhli (2019), um centro de material e esterilização centralizado é uma instalação de esterilização que fornece serviços de esterilização a um grupo de hospitais. Conforme mostra a representação esquemática da Figura 4. Vale lembrar que existe outra forma de configuração de uma centralização da operação de esterilização, onde o CME ficaria fora de um hospital, sendo uma instalação à parte.

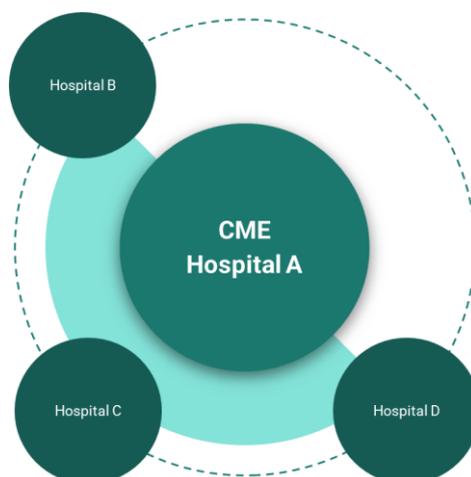


Figura 4 - Representação esquemática da centralização de CME

Fonte: Elaboração própria (2024).

De acordo com Tlahig et al. (2013), a centralização dos serviços de esterilização pode resultar em uma melhor utilização de recursos e economia significativa de custos devido à vantagem da economia de escala. No entanto, essa opção só é viável se os hospitais estiverem localizados na mesma região e se os custos de transporte forem considerados. Na presente pesquisa, foram considerados hospitais dentro de uma mesma região metropolitana. Além disso, a centralização do serviço de esterilização aumenta o risco de falta de materiais estéreis. Portanto, é necessário um alto nível de gestão para garantir a coordenação e a satisfação de todos os envolvidos na rede. Para obter os benefícios de um serviço de esterilização centralizado, é essencial uma gestão eficaz e eficiente nos níveis tático e operacional (Tlahig et al., 2013).

Segundo Saif & Elhedhli (2019), a centralização da operação de CMEs resulta nas seguintes economias de custos:

1. Melhor aproveitamento dos recursos: muitas vezes, os equipamentos e pessoal de esterilização são subutilizados devido à demanda limitada em um único hospital. Assim, é possível usar os mesmos recursos para atender também outros hospitais.

2. Menos recursos necessários devido ao *pooling* de riscos: em um ambiente de demanda variável, a quantidade de equipamentos e pessoal é determinada de forma que possam atender a demanda máxima esperada com certa probabilidade. Ao combinar a demanda de dois ou mais hospitais, a menos que suas demandas sejam perfeitamente correlacionadas, a demanda máxima deles combinada é menor que a soma de suas demandas máximas. Assim, menos recursos são necessários.

3. Menor custo de capacidade devido a economias de escala: instalações maiores geralmente custam menos por unidade de capacidade devido a uma variedade de razões, incluindo: maior flexibilidade de organização, maior eficiência energética e compartilhamento de despesas gerais. Além disso, descontos de quantidade para aquisição e manutenção de equipamentos de

esterilização, aquisição de insumos e treinamento de mão de obra podem levar a economias significativas.

4. Menor custo de manutenção de estoque devido ao agrupamento de riscos: Se o estoque de DMR for mantido nos SCs e enviado aos hospitais quando necessário, menos dispositivos serão necessários do que quando os hospitais mantêm seus próprios estoques pelo mesmo motivo explicado no ponto 2.

Saif & Elhedhli (2019) salienta que “ao escolher entre funções de esterilização centralizada e distribuída, há uma compensação subjacente entre transporte e custos de capacidade/processo. Por um lado, quanto menor o número de SCs, maior o custo de transporte dos DMRs (dispositivo médico reutilizável) de e para os hospitais “.

Costa et al. (2021) analisou as estratégias utilizadas pelas enfermeiras para organização e planejamento no processo de centralização, intra hospitalar, do CME em um Hospital Geral em Petrópolis e concluiu que houve ganhos expressivos para o hospital.

A esterilização dos materiais foi centralizada e mais bem administrada. Tais estratégias conduziram a um ganho expressivo para a enfermagem, o Hospital e a sociedade, que se beneficiaram da assistência hospitalar com um melhor controle das IRAS. Explicando melhor, mediante a esterilização correta dos materiais utilizados pelos profissionais da saúde naquela instituição; melhor gestão da força de trabalho ao evitar o reprocessamento desnecessário de materiais acumulados nas unidades consumidoras, tendo impacto financeiro direto para a instituição.

Em síntese, os benefícios da centralização da operação do CME são:

- Economia de Escala: A centralização pode permitir uma maior padronização de processos e materiais, reduzindo custos por meio de compras em maior quantidade e obtenção de descontos por volume.
- Controle de Qualidade Aprimorado: O controle e monitoramento centralizado podem garantir a consistência na esterilização e no cumprimento de padrões de qualidade, reduzindo riscos de infecções hospitalares.

- **Eficiência Operacional:** Uma gestão centralizada pode otimizar o fluxo de trabalho, melhorar o uso de recursos e reduzir o tempo necessário para a esterilização de materiais.
- **Melhor Gestão de Estoque:** Centralizar a operação pode facilitar o gerenciamento de estoques, reduzir excessos e minimizar a obsolescência de materiais.
- **Segurança e Rastreabilidade:** A centralização pode proporcionar maior controle e rastreamento de materiais, ajudando na identificação de problemas e no rastreamento de lotes em casos de problemas.

### 4.3

#### Modelos matemáticos com foco em minimizar custos

Com a revisão da literatura, foi possível encontrar 5 artigos com aplicações de modelos matemáticos com foco na centralização da operação do CME. O problema vem sendo estudado fazem muitos anos, mas recentemente teve uma maior atenção. Os artigos obtidos estão descritos no Quadro 5 e são apresentados em mais detalhes em seguida.

<b>Autores</b>	<b>Método</b>	<b>Objetivo</b>	<b>Dados reais ou teóricos?</b>	<b>País aplicado</b>
Elshafei (1975)	Problema de localização	Determinar a localização ideal de um CME de forma a minimizar custo	Dados reais	Reino Unido
Tlahig et al. (2009)	Problema de localização-alocação; Problema de capacidade.	A primeira etapa consiste em buscar a configuração ótima que minimize o custo da atividade de esterilização, enquanto a segunda etapa consiste em encontrar o dimensionamento adequado dessa configuração ótima.	Dados reais	Tunísia
Tlahig et al. (2013)	Problema de programação inteiro misto multiperíodo determinístico	Minimizar o custo total do serviço de esterilização que inclui o custo de transporte, o custo do processo de esterilização e os custos de transferência e aquisição de recursos.	Dados reais	França
Saif & Elhedhli (2019)	Problema de programação de cone de segunda ordem inteiro misto	Minimizar o custo total de longo prazo da rede de esterilização, incluindo: custo de configuração, custo de transporte de instrumentos, custo de manutenção e custo de	Dados reais	Canadá

		equipamentos e recursos humanos necessários para realizar os serviços de esterilização.		
Saidi et al. (2021)	Problema de programação inteira mista	Projetar viagens logísticas entre a rede de hospitais e o centro de esterilização para coletar dispositivos médicos reutilizáveis contaminados e distribuir os estéreis, minimizando os custos de transporte.	Dados teóricos	França

Quadro 5 - Modelos matemáticos encontrados na revisão

Fonte: Elaboração própria (2024)

Elshafei (1975) foi o primeiro autor a utilizar um modelo matemático a fim de configurar uma rede de esterilização. O objetivo do trabalho foi selecionar a localização, tamanho e número ideal de CMEs necessários para abastecer os hospitais do Birmingham Regional Hospital Board, no Reino Unido. Foram considerados 9 locais e os CMEs estabelecidos destinavam-se a abastecer um grupo de 200 hospitais com os dispositivos médicos reutilizáveis estéreis (DMR) utilizados em blocos operatórios, diferentes enfermarias e departamentos. O problema resultou em mais de uma solução global ótima, por isso ele traz um quadro comparativo dessas soluções e levanta a discussão de que se deve olhar outras variáveis, ou seja, não decidir apenas olhando a solução de menor custo.

Mais de três décadas depois, Tlahig et al. (2009) desenvolveu um estudo com o objetivo de decidir se os serviços de esterilização deveriam ser realizados centralmente ou dentro de cada ala do hospital, pois naquela época cada ala hospitalar tinha um departamento de esterilização. O autor utiliza dois modelos matemáticos, um para resolver problema de localização-alocação determinando a configuração ótima que minimiza o custo da atividade de esterilização e o segundo modelo para problema de capacidade, onde foi otimizado o tamanho de cada CME do hospital. No entanto, Saif & Elhedhli (2019) destaca que a abordagem utilizada por Tlahig et al. (2009) não poderia garantir uma otimização global, uma vez que os problemas de localização-alocação e capacidade foram resolvidos separadamente.

Diferente de seu estudo de 2009, dessa vez Tlahig et al. (2013) trouxe uma discussão de configuração do serviço de esterilização em múltiplos hospitais. O autor apresenta um modelo de problema de otimização de programa inteiro misto determinístico multiperíodo, onde o objetivo foi minimizar o custo total do serviço de esterilização que inclui o custo de transporte, o custo do processo de esterilização e os custos de transferência e armazenamento. O foco do estudo foi encontrar a melhor escolha entre as duas alternativas de configuração do serviço de esterilização em uma rede hospitalar: (1) um serviço de esterilização distribuído; (2) um serviço centralizado de esterilização. Para a segunda alternativa, também foi determinado o local e o dimensionamento do serviço de esterilização comum.

Alguns anos depois, Saif & Elhedhli (2019) propôs uma abordagem alternativa à apresentada em Tlahig et al. (2013) alegando que a abordagem de Tlahig et al. é prática apenas para redes de poucos hospitais. Através de um problema de minimização côncava inteiro misto com restrições lineares e côncavas, o objetivo foi projetar uma rede de esterilização que atenda a uma rede hospitalar. Saif & Elhedhli (2019) compara três esquemas para organizar a esterilização de dispositivos médicos reutilizáveis (DMR) em um grupo de hospitais:

1. Serviço distribuído e estoque DMR: cada hospital assume as funções de esterilização e mantém seu próprio estoque DMR internamente, sem necessidade de qualquer tipo de coordenação.
2. Serviço centralizado e estoque DMR distribuído: as funções de esterilização podem ser realizadas por centros externos, mas o estoque DMR é mantido e gerenciado internamente.
3. Serviço centralizado e estoque DMR: SCs assumem as funções de manutenção e gerenciamento de estoque DMR, além das funções de esterilização.

O projeto de rede de esterilização proposto é implementado em um estudo de caso realista do sudoeste de Ontário. Os resultados obtidos evidenciam os *trade-offs* inerentes ao processo de design de rede e demonstram as economias de custo que podem ser alcançadas por meio da centralização

da operação de esterilização. Foi constatado que uma economia significativa é obtida ao agrupar a função de esterilização, enquanto a centralização da função de manutenção de estoque do DMR resulta em uma economia de custo menor, que deve ser avaliada em relação a outras considerações operacionais e legais. Além disso, foi mostrado que o problema pode ser fortalecido diante da incerteza da demanda com um pequeno aumento de custo, especialmente quando dados históricos abundantes estão disponíveis.

Mais recentemente, Saidi et al. (2021), já considera uma centralização da operação de esterilização entre hospitais e fornece um modelo matemático para projetar viagens logísticas entre a rede de hospitais e o centro de esterilização. O modelo proposto foi de programação de inteiros mistos com o objetivo de minimizar os custos de transporte ao coletar dispositivos médicos reutilizáveis contaminados e distribuir os estéreis entre a central de material e esterilização centralizada e os demais hospitais da rede. Sendo, de fato, uma abordagem importante para um projeto de operação após ter sido definida uma unidade para centralizar a operação da rede de hospitais.

## 5

### Resultados empíricos

O capítulo 5 tem como intuito apresentar os resultados empíricos obtidos através da pesquisa-ação dividido em duas seções.

A seção 5.1 apresenta a descrição da operação de uma rede de esterilização, sendo, portanto, subsídio para elaboração de um modelo matemático e corresponde, assim, à seguinte pergunta de pesquisa e ao seguinte objetivo específico:

PP3: Como descrever uma operação real para elaboração de um modelo matemático de centralização de uma rede de esterilização?

OE3: Descrever a operação atual de quatro centros de material e esterilização, através da modelagem do processo;

A seção 5.2 apresenta o desenvolvimento do modelo matemático e o cenário de redução de custo identificado para uma rede de esterilização. Dessa forma, corresponde à seguinte pergunta de pesquisa e ao seguinte objetivo específico:

PP4: Como identificar o cenário de redução de custo para uma rede de esterilização centralizada?

OE4: Elaborar um modelo matemático para definir um cenário de centralização para redução de custo

#### 5.1

##### Descrição da operação de uma rede de esterilização

A descrição da operação da rede de esterilização, na seção 5.1.1, se dá a partir, primeiro, da qualificação das unidades quando ao porte, perfil de atendimento, volume médio de atendimento e perfil de uso de instrumento cirúrgico predominante. Dessa forma, é possível compreender as principais características e a complexidade de cada unidade que compõe a rede de esterilização que está sendo estudada.

Em seguida, na seção 5.1.2, são descritas a Cadeia de Valor Agregado dos processos finalísticos e a cadeia de valor agregado dos processos de gestão. Ambas são construídas a partir da imersão em campo, para que se compreenda o percurso pelo qual os instrumentais cirúrgicos atravessam, bem como o fluxo de informações e tomada de decisão no contexto do objeto da pesquisa. Cada macroprocesso modelado será brevemente descrito para elucidar suas principais características.

### 5.1.1

#### **As unidades que compõem a rede de esterilização**

Esta seção traz o perfil dos hospitais que compõem a rede de esterilização estudada, a partir do volume cirúrgico, média de cirurgias por mês e estrutura física de cada CME e dos setores que consomem os respectivos serviços de esterilização. Importante pontuar que cada hospital tem seu próprio serviço de esterilização, com exceção do hospital 3. Os DMR são consumidos por vários setores do hospital, como UTI, CTI, UI, porém o setor com maior volume de consumo dos instrumentais estéreis é o centro cirúrgico. Terminada a cirurgia, todos os materiais são encaminhados para o serviço de esterilização. Por isso, nesta seção também são apresentadas as especialidades que representam maior volume de cirurgias em ordem de volume, para que se tenha uma primeira perspectiva da demanda, que é detalhadamente descrita na seção 5.2.2.

O Quadro 6 apresenta uma síntese do perfil dos hospitais, que são detalhados em seguida.

	<b>H1</b>	<b>H2</b>	<b>H3</b>	<b>H4</b>	<b>Fonte</b>
<b>Volume de cirurgias 2022</b>	15643	8876	2958	7587	Levantamento BI
<b>Média de cirurgias/mês em 2022</b>	1304	740	247	632	Levantamento BI
<b>Volume de cirurgia 2023</b>	12764	8485	2826	6084	Dados de produção
<b>Média de cirurgias/mês em 2023</b>	1064	707	236	507	Dados de produção
<b>Sala de cirurgias</b>	13	11	3	8	Dados de produção

	H1	H2	H3	H4	Fonte
<b>Quartos UTI</b>	152	82	21	51	Dados de produção
<b>Quartos internação</b>	57	57	33	35	Dados de produção
<b>Quantidade de técnicos de enfermagem no CME</b>	25	22	2	11	Entrevistas visita a campo
<b>Média de produção de materiais esterilizados no CME (mensal)</b>	12 mil	12 mil	NA*	5 mil	Entrevistas visita a campo
<b>Registro da produção</b>	Manual	Informatizada	NA*	Manual	Entrevistas visita a campo
<b>Área total aproximada do CME (m<sup>2</sup>)</b>	137,5 m <sup>2</sup>	200 m <sup>2</sup>	NA <sup>1*</sup>	100m <sup>2</sup>	Entrevistas visita a campo

Quadro 6 - Perfil dos hospitais

Fonte: Elaboração própria (2024).

Sobre a fonte dos dados levantados, vale pontuar que o levantamento do BI é uma compilação de bases de dados que tem como fonte primária o prontuário do paciente preenchido pela operação dos CMEs, enquanto os dados de produção são dados que vem do reporte da gestão de produtividade, instrumentos paralelos ao prontuário. Considerando o volume de cirurgias de 2022, observa-se que o H1 executa aproximadamente o dobro de cirurgias do H2, apesar de ter uma CME consideravelmente menor em metragem quadrada. Ainda sobre essa disparidade, observou-se em campo uma série de desafios de *layout* e estrutura física em H1, que traz dificuldades para a execução dos processos e adequação aos instrumentos regulatórios. Vale ainda destacar que o registro de produção do H1 é manual, enquanto no H2 é informatizado, gerando fragilidades observadas como mais falhas de lançamento das informações e uma maior carga de trabalho dos operadores. Essas disparidades podem ser mitigadas quando se pensa na centralização da operação dos quatro hospitais a um custo reduzido

<sup>1</sup> H3 não possui CME, atualmente é esterilizado no H2. Possui 2 técnicos no H3 para controle e distribuição do arsenal esterilizado.

quando comparado a adequação de layout e da operação ineficiente das quatro unidades da rede de esterilização.

Sobre o ranking de volumes por especialidades (Quadro 7), observa-se que as especialidades cirurgia geral, ortopedia e urologia aparecem em todos os 4 hospitais. Apesar de não ser a realidade dessa rede de esterilização atualmente, esse fato evidencia o potencial de estratégias de projetos de operações, como a padronização de caixas no contexto da centralização, que facilitaria a previsibilidade na composição dos ciclos dos equipamentos. Além da padronização, ter especialidades em comum contribui também para a especificação de um inventário único que poderia atender a qualquer uma das unidades da rede centralizada.

<b>Top 5</b>	<b>H1</b>	<b>H2</b>	<b>H3</b>	<b>H4</b>
<b>1</b>	Cirurgia geral	Cirurgia geral	Urologia	Cirurgia geral
<b>2</b>	Ortopedia	Ortopedia	Otorrino	Ortopedia
<b>3</b>	Urologia	Urologia	Cirurgia geral	Cirurgia plástica
<b>4</b>	Cirurgia plástica	Cirurgia plástica	Ortopedia	Urologia
<b>5</b>	Neurocirurgia	Otorrino	Cirurgia cardíaca	Otorrino

Quadro 7 - Especialidades com maior volume de cirurgias em cada hospital

Fonte: Elaboração própria (2024).

### 5.1.2

#### **Os processos de esterilização mapeados**

Para representar o processo de esterilização, foi construído um único macroprocesso que reúne os processos observados da rede de esterilização de quatro hospitais, a partir de um checklist estruturado para diagnóstico da operação e de visitas de campo e entrevistas a especialistas.

O primeiro macroprocesso, referente aos processos de atravessamentos dos itens, é apresentado na Figura 5 e, nele, estão delimitadas as áreas físicas onde os processos ocorrem, a saber: expurgo, preparo, desinfecção química e arsenal.

Na área de expurgo são realizados os processos de recebimento de material, onde são feitas a conferência, a inspeção visual dos itens, a pré-limpeza mecânica, realizada com escovação em pias com detergente enzimático, a pré-limpeza na AutoSteam, realizada apenas para materiais com lúmen inferior a 5mm, e a limpeza ultrassônica, realizada após a pré-limpeza mecânica. A limpeza ultrassônica deveria ser realizada também para materiais com lúmen inferior a 5mm, mas observa-se que essa orientação técnica nem sempre é seguida no dia a dia das operações.

A etapa de termo desinfecção está localizada na fronteira entre o expurgo e o preparo, e possui uma separação por barreira física, ou seja, o equipamento possui portas para ambos os lados que se abrem a depender do estágio do processamento (materiais processados somente podem ser retirados pela área de preparo).

Na área de preparo são realizados a secagem por ar comprimido ou em secadora e o preparo dos materiais, que consistem em conferir, montar e embalar as caixas para o processo de esterilização. Essa embalagem pode ser realizada em grau cirúrgico para a autoclave de alta temperatura e em *Tyvek* para a autoclave de baixa temperatura. Os itens que não precisam passar por esterilização (ventilatórios, materiais de banho, aparelhos de endoscopia e lâminas de laringo) serão embalados em *cover bag* e seguirão para o arsenal.

A etapa de esterilização, que pode ser de baixa ou alta temperatura, está também localizada na fronteira, mas aqui entre o preparo e o arsenal. Nessa etapa, os materiais preparados e identificados são processados nas autoclaves e passam por testes para garantia da esterilização e qualificação do equipamento (teste de Bowie & Dick, teste biológico diário, teste de liberação de carga e teste de vácuo).

Os processos realizados na área de desinfecção química são a desinfecção química manual ou automatizada, seguida da secagem manual ou secagem em máquina de desinfecção. Passam por essa os materiais termos sensíveis, como: endoscópios, colonoscópios,

broncoscópios, duodenoscópios, nasofibroscópios, broncofibros e sondas transesofágicas.

Já na área denominada como arsenal é realizada a armazenagem dos materiais e distribuição destes para os setores do hospital.

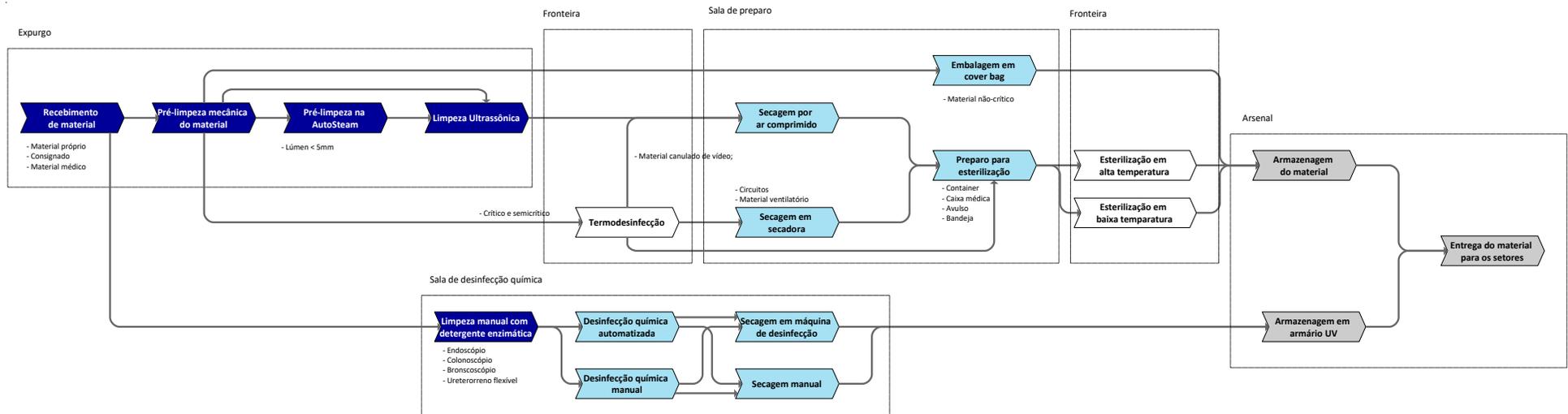


Figura 5 - Macroprocesso da operação atual

Fonte: Elaboração própria (2024).

Enquanto macroprocessos de gestão, foram identificados os de gestão estratégica, os de gestão da produtividade e os de gestão da rotina, apresentados na figura 6.

O macroprocesso de gestão estratégica se inicia no planejamento da demanda, que é realizado a partir da demanda do ano anterior, adicionando-se a expectativa de crescimento do volume de atendimento, a partir do orçamento previsto para o ano seguinte. Esse planejamento da demanda é predecessor ao planejamento das instalações, do *headcount* e dos equipamentos. Nesse caso, é feita uma análise de adequação desses recursos e, caso haja descasamento, são negociadas expansões de capacidade com a direção. Vale destacar que as expansões físicas e de equipamento exigem maior prazo para negociação e execução e, em geral, a unidade acaba operando de forma adaptada até que as mudanças se concretizem.

Além disso, o planejamento da demanda orienta a definição das boas práticas e a identificação de instrumentos normativos relacionados a CME de cada porte, bem como o estabelecimento dos instrumentos de monitoramento da produção que garantirão a posterior compilação dos registros de produção no macroprocesso de gestão da produtividade.

A gestão da produtividade contempla, então, esse registro de produção, além da construção dos indicadores e reporte dos indicadores. Esse reporte de indicadores mensais retroalimenta o planejamento da demanda uma vez ao ano.

Já no macroprocesso de gestão da rotina, tem-se como primeiro processo a composição das escalas, que ocorre após o planejamento do *headcount*. Em seguida, é realizada a orientação diária das equipes e o monitoramento da execução. Ainda no dia a dia, é feita a priorização da produção a partir do mapa cirúrgico previsto, e é feito o acompanhamento

do bate-mapa<sup>†</sup>, para garantir que eventuais ajustes sejam refletidos nessa priorização.

---

<sup>†</sup> O "Bate-Mapa" é uma reunião diária onde se discutem informações sobre os procedimentos cirúrgicos dos pacientes. Durante essa reunião, são consideradas as comorbidades, o tipo e o porte da cirurgia para determinar os materiais e equipamentos necessários, a reserva de leito na UTI, a solicitação de hemocomponentes, entre outros detalhes relevantes ao procedimento cirúrgico.

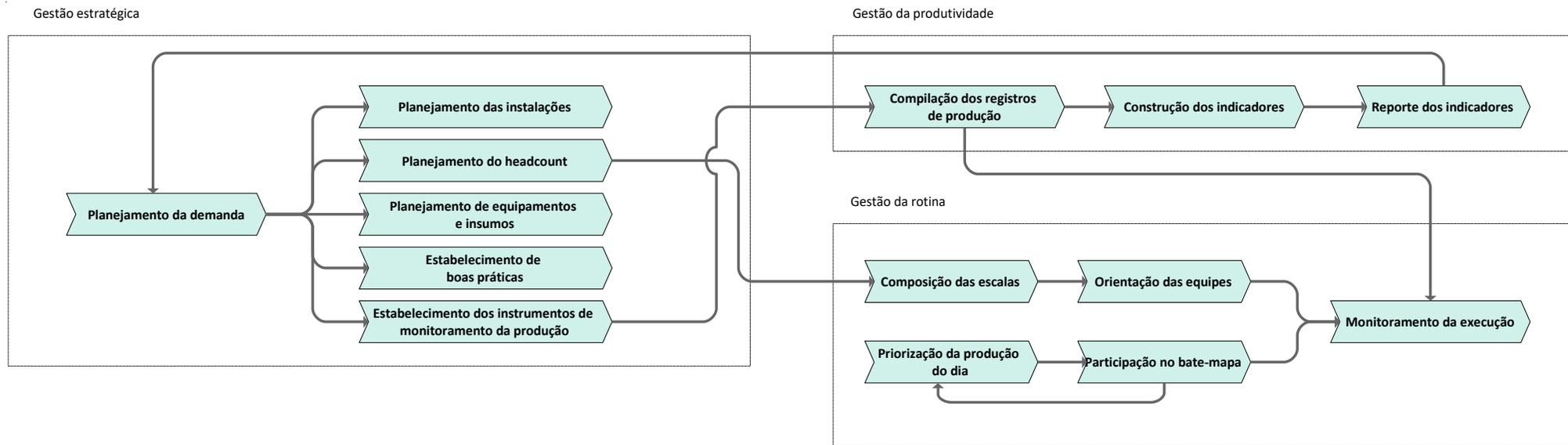


Figura 6 - Macroprocesso da gestão atual

Fonte: Elaboração própria (2024).

## 5.2

### Desenvolvimento e aplicação do modelo matemático

O modelo matemático desenvolvido é apresentado na presente seção. Dessa forma, traz-se a descrição do modelo, junto aos seu objetivo, restrições, conjuntos, variáveis, parâmetros e premissas adotadas. Em seguida, são descritos a capacidade instalada e a demanda atual da rede de esterilização. E por último, são apresentados os resultados do modelo a partir de seus cenários. apresentados os resultados do modelo a partir de seus cenários.

#### 5.2.1

##### Descrição das variáveis, parâmetros e restrições

O modelo matemático desenvolvido é para um serviço de centralização para uma rede de esterilização, sejam  $i \in I, j \in J, p \in P, r \in R, f \in F$  os índices dos hospitais, potenciais locais de CME, tipos de materiais DMR, tipos de equipamentos e funcionários, respectivamente, conforme apresentado no quadro 8. O problema de otimização possui uma função objetivo linear e restrições lineares, onde as variáveis de decisão incluem tanto variáveis binárias quanto inteiras, caracterizando um problema de Programação Linear Inteira Mista (MILP).

Índice	Significado	Domínio	Descrição
$i$	Hospitais	$i = [1,4]$	4 hospitais compõem a rede de esterilização
$j$	Potenciais CME's	$j = [1,3]$	3 hospitais têm CME instalada, logo são potenciais para a centralização
$p$	Tipos de materiais	$p = [1,5]$	5 tipos de materiais são considerados (Bandeja de cateterismo, Bandeja de punção venosa, caixa de pequena cirurgia, caixa básica, caixa de vídeo geral)
$r$	Tipo de equipamentos	$r = [1,5]$	5 tipos de equipamentos (Termo, Autoclave 566L, Autoclave 704L, Autoclave 878L, estantes)
$f$	Funcionários	$f = [1]$	1 (considerando apenas na área de preparo)

Quadro 8 - Conjuntos do modelo matemático

Fonte: Elaboração própria (2024).

O Quadro 9 resume as variáveis essenciais do modelo matemático. As variáveis são definidas da seguinte forma:  $x_j$  é uma variável binária indicando se uma Central de Material Esterilizado (CME) está aberta na localização "j";  $y_{ij}$  é outra variável binária que determina se o hospital "i" está atribuído à CME "j";  $z_{jp}$  representa a quantidade de materiais do tipo "p" mantidos em estoque na CME "j";  $s_{jr}$  é a quantidade de equipamentos do tipo "r" disponíveis na CME "j";  $n_{jf}$  denota a quantidade de funcionários do tipo "f" disponíveis na CME "j"; e, por fim,  $m_{jr}$  especifica a quantidade de ciclos realizados pelos equipamentos por dia na CME "j". Essas variáveis são fundamentais para a formulação e resolução do modelo proposto.

$x_j$	É uma variável binária que assume valor 1 se uma CME for aberta na localização "j";
$y_{ij}$	É uma variável binária que assume valor 1 se o hospital "i" for atribuído a CME "j";
$z_{jp}$	É quantidade de materiais do tipo "p" mantidos em estoque na CME "j"
$s_{jr}$	É a quantidade de equipamentos "r" disponíveis na CME "j"
$n_{jf}$	É a quantidade de funcionários "f" disponíveis na CME "j"
$m_{jr}$	É a quantidade de ciclos por dia realizados pelos equipamentos

Quadro 9 - Variáveis do modelo matemático

Fonte: Elaboração própria (2024).

O objetivo no modelo é minimizar o custo total de longo prazo da rede de esterilização estudada. O custo total inclui o custo de aluguel (correspondente a área do CME dentro de cada hospital), custo de oportunidade (caso o CME vire salas cirúrgicas, por ser o serviço de maior rentabilidade), custo de manutenção de equipamento, custo de manutenção de DMR (custo de embalagem e integrador químico), custo de transporte entre os hospitais e o CME centralizado (custo por km de 0,43 reais), custo de funcionamento de equipamento (custo de testes), custo de ciclo (custo de água, luz e detergente enzimático referente a cada ciclo), custo de depreciação de equipamento e custo de pessoal.

Cada hospital é atendido por um único CME. Se o CME for no próprio hospital, não há custo de transporte. Se o hospital for atendido por um CME externo, um veículo envia os DMR do CME para o hospital pela manhã e

devolve os DMR contaminados no final do dia. Assume-se que todas as remessas são diretas, sem roteamento entre hospitais. As premissas consideradas no modelo são:

- Os locais potenciais CME são conhecidos (hospitais existentes).
- Todos os locais potenciais CME são considerados para ser o CME centralizado
- É considerado que pode haver mais de um CME para a rede estudada, porém um hospital não pode ser atendido por duas CMEs diferentes.
- É considerado que o hospital onde terá o CME centralizado também centralizará o estoque.
- Foi considerado que se a decisão de mudança para um CME for tomada em um determinado período, ela permanecerá a mesma para o próximo horizonte de planejamento (um ano), pois os cálculos do modelo são considerados para o contexto de um ano.
- Os custos de transição incorridos para mudar do status quo para a nova configuração são insignificantes em comparação com os custos de estado estacionário, então eles são desconsiderados.
- Os custos relacionados ao armazenamento de DMRs próximo às salas de operação e suas movimentações dentro dos hospitais não foram incluídos, pois esses custos serão incorridos independentemente da configuração da rede.
- A decisão sobre a localização do serviço de esterilização envolve todos os hospitais da rede de esterilização: todos os hospitais considerados têm que tomar a mesma decisão ao escolher entre organização centralizada e distribuída.
- Os custos de transporte são tratados como custos variáveis e dependem da distância entre o hospital e o local do CME, considerando-se R\$5,70 como custo de 1 litro de gasolina.
- Considera-se que os veículos para transporte de materiais já estão disponíveis e pertencem ao hospital, logo não há custo de aquisição nem de aluguel.

- O serviço de esterilização requer um conjunto de recursos humanos e equipamentos (técnicos de enfermagem, autoclaves etc.). Cada recurso tem uma determinada capacidade de processar material esterilizado.
- Não foi considerado o custo de transferência de equipamentos, nem a receita gerada com a venda de equipamentos que fiquem sem uso.
- Não foram considerados custos de desligamento dos recursos humanos. Supõe-se que cada enfermeiro/técnico seja transferido para o CME centralizado ou para outro serviço em seu hospital de origem.
- Foram considerados apenas 5 tipos de materiais, sendo os mais utilizados nas cirurgias. Com isso, foi adotado um redutor de capacidade no modelo de 66% para garantir que os equipamentos e funcionários terão capacidade suficiente para processar também os demais materiais.
- Os níveis iniciais de estoque são considerados iguais a zero.
- A demanda é considerada determinística e baseada em dados históricos (de 2022) de demanda da atividade do centro cirúrgico de cada hospital, por ser o setor que mais consome DMR.

Min

$$\begin{aligned}
& \sum_{j \in J} A_j x_j + \sum_{j \in J} U_j x_j + \sum_{j \in J} M_j x_j + \sum_{j \in J} \sum_{p \in P} H_p z_{jp} + \sum_{j \in J} \sum_{i \in I} L_{ij} y_{ij} \\
& \quad + 365 \sum_{j \in J} \sum_{r \in R} G_r s_{jr} + 365 \sum_{j \in J} \sum_{r \in R} m_{jr} K_r + \sum_{j \in J} \sum_{i \in I} D_r s_{jr} \\
& \quad + \sum_{j \in J} \sum_{f \in F} E_{fj} n_{jf}
\end{aligned}$$

Os custos da função objetivo são seguidos dessa forma:

*custo de aluguel + custo de oportunidade*  
*+ custo de manutenção de equip*  
*+ custo de manutenção de material*  
*+ custo de transporte*  
*+ custo de funcionamento de equip + custo de ciclo*  
*+ custo de depreciação de equip + custo de pessoal*

Sujeito a:

$$\sum_{j \in J} y_{ij} = 1, \quad \forall i \in I \quad (1)$$

$$x_j \geq y_{ij}, \quad \forall i \in I, j \in J \quad (2)$$

$$z_{jp} \geq \sum_{i \in I} \mu_{ip} y_{ij}, \quad \forall j \in J, p \in P \quad (3)$$

$$\sum_{p \in P} Q_{pr} z_{jp} W_{jr} \leq m_{jr}, \quad \forall j \in J, r \in R \quad (4)$$

$$m_{jr} \leq C_r s_{jr}, \quad \forall j \in J, r \in R \quad (5)$$

$$\sum_{p \in P} t_{pf} z_{jp} \leq 473 n_{jf}, \quad \forall j \in J, f \in F \quad (6)$$

$$s_{jr} \leq S_{jr}, \quad \forall j \in J, r \in R \quad (7)$$

$$n_{jr} \leq N_{jr}, \quad \forall j \in J, n \in N \quad (8)$$

A descrição dos parâmetros é apresentada no Quadro 10 e as restrições do modelo são descritas no Quadro 11.

O quadro 10 apresenta os parâmetros utilizados no modelo matemático. Os custos incluem despesas como aluguel e custos de oportunidade relacionados a diferentes recursos ou espaços (representados por  $A_j$  e  $U_j$ , respectivamente), bem como custos de manutenção de equipamentos ( $M_j$ ) e materiais ( $H_p$ ). O custo de transporte entre hospitais e um Centro de Material e Esterilização (CME) é representado por  $L_{ij}$ . Há também custos relacionados à operação dos equipamentos, como custo para colocá-los em funcionamento ( $G_r$ ) e o custo de cada ciclo de operação ( $K_r$ ), juntamente aos custos de depreciação ( $D_{jr}$ ).

Além disso, são considerados custos de pessoal, incluindo o custo de *headcount* na CME ( $E_{fj}$ ) e a quantidade máxima de funcionários que podem ser alocados ( $N_{jf}$ ). A disponibilidade de equipamentos ( $W_{jr}$ ) e a quantidade máxima de equipamentos que podem ser armazenados na CME ( $S_{jr}$ ) também são levadas em conta. Finalmente, a quantidade de equipamentos necessários para processar um único material ( $Q_{pr}$ ), a quantidade de ciclos que um equipamento pode realizar em um dia ( $C_{jr}$ ) e o tempo necessário para preparar um único material por funcionário ( $t_{pf}$ ) são considerados, juntamente à demanda dos hospitais por produtos específicos ( $\mu_{ip}$ ).

$A_j$	É o custo de aluguel;
$U_j$	É o custo de oportunidade;
$M_j$	Custo de manutenção de equipamentos;
$H_p$	É o custo de manutenção (integrador químico e insumos) do material “p”;
$L_{ij}$	É o custo de transporte entre o hospital “i” e a CME “j”;
$G_r$	É o custo para colocar um equipamento “r” para funcionar;
$K_r$	É o custo de um ciclo do equipamento “r”;
$D_{jr}$	Custo de depreciação de equipamentos;
$E_{fj}$	É o custo de <i>headcount</i> na CME “j”;
$W_{jr}$	Assume valor 1 se o equipamento “r” está disponível na CME “j”;
$S_{jr}$	É a quantidade máxima de equipamentos “r” que cabe na CME “j”;
$Q_{pr}$	É a quantidade necessária de equipamentos “r” para processar um único material “p”;
$C_{jr}$	É a quantidade de ciclos que um equipamento “r” pode realizar em um dia;
$N_{jf}$	É a quantidade máxima possível de funcionários “f” que cabem na CME “j”;
$t_{pf}$	É o tempo necessário para o funcionário “f” preparar um único material “p”;
$\mu_{ip}$	É a demanda do hospital “i” pelo produto “p”;

Quadro 10 - Parâmetros do modelo matemático

Fonte: Elaboração própria (2024).

O quadro 11 estabelece as restrições consideradas no modelo matemático que garantem sua otimização. Primeiramente, cada hospital é atribuído exclusivamente a uma única CME, porém pode haver mais de um CME para a rede. Além disso, é importante que nenhum hospital seja designado para uma CME fechada. A quantidade de estoque em cada CME deve ser suficiente para atender à demanda dos hospitais a ela atribuídos, garantindo o abastecimento adequado de materiais. Da mesma forma, a quantidade de equipamentos em cada CME deve ser adequada para

atender à demanda, garantindo a eficiência dos processos. A quantidade de funcionários em cada CME também deve ser suficiente para atender à respectiva demanda, assegurando a qualidade e a rapidez dos serviços prestados. Além disso, é necessário que a quantidade máxima de equipamentos e funcionários necessários em cada CME não ultrapasse a capacidade máxima permitida, otimizando o espaço disponível. Essas restrições são essenciais para garantir a configuração ótima da rede de esterilização. Maiores detalhes do modelo constam no apêndice 2.

(1)	Atribui cada hospital a, exatamente, uma única CME;
(2)	Garante que nenhum um hospital seja atribuído a uma CME fechada;
(3)	O estoque em cada CME deve ser suficiente para atender a demanda dos hospitais a ela atribuída;
(4) e (5)	A quantidade de cada equipamento em cada CME deve ser suficiente para atender toda a sua respectiva demanda da CME;
(6)	A quantidade de funcionários em cada CME deve ser suficiente para atender toda a sua respectiva demanda;
(7)	A quantidade máxima de equipamento necessários para atender a demanda de cada CME não deve ultrapassar a quantidade máxima de equipamentos que cabem na respectiva CME;
(8)	A quantidade máxima de funcionários necessários para atender a demanda de cada CME não deve ultrapassar a quantidade máxima de funcionários (1 por mesa na área de preparo).

Quadro 11 - Restrições do modelo matemático

Fonte: Elaboração própria (2024).

### 5.2.2

#### **Descrição da capacidade e da demanda**

As informações de capacidade dos equipamentos e funcionários são elementos do modelo, além da demanda de DMR. Por isso, essa seção se preocupa em descrever esses elementos.

O quadro 12 apresenta a quantidade de equipamentos existentes em cada hospital. Os equipamentos listados são Termodesinfectora, Autoclave 566 L, Autoclave 704 L e Autoclave 878 L. Para cada hospital, são fornecidos os números correspondentes de cada tipo de equipamento disponível. Por exemplo, para o hospital H1, há 3 Termodesinfectoras e 2 Autoclaves 878 L, enquanto não há Autoclaves 566 L nem Autoclaves 704 L. Essa representação fornece uma visão clara da distribuição de equipamentos em diferentes hospitais.

	<b>Termodesinfectora</b>	<b>Autoclave 566 L</b>	<b>Autoclave 704 L</b>	<b>Autoclave 878 L</b>
H1	3	0	0	2
H2	2	0	3	0
H4	2	2	0	0

Quadro 12 - Quantidade de equipamentos por hospital

Fonte: Elaboração própria (2024).

Já o quadro 13 fornece informações sobre a capacidade de cada equipamento, especificamente Termodesinfectora e Autoclaves de diferentes capacidades (566 L, 704 L e 878 L), em termos de quantas caixas de diferentes tipos podem ser processadas em um único ciclo. Os tipos de caixas listados incluem Bandeja de Cateterismo, Bandeja de Punção, Caixa Pequena de Cirurgia, Caixa Básica e Caixa de Vídeo Geral. Por exemplo, a Termodesinfectora pode processar 150 Bandejas de Cateterismo, 150 Bandejas de Punção, 30 Caixas Pequenas de Cirurgia, 15 Caixas Básicas e 10 Caixas de Vídeo Geral em um único ciclo. Da mesma forma, as Autoclaves de diferentes capacidades têm suas respectivas capacidades para cada tipo de caixa. Esses dados são úteis para o planejamento da esterilização de instrumentos e materiais médicos, permitindo uma alocação eficiente de recursos e uma gestão adequada da demanda.

	<b>Termo (1 ciclo)</b>	<b>Autoclave (1 ciclo) 566 L</b>	<b>Autoclave (1 ciclo) 704 L</b>	<b>Autoclave (1 ciclo) 878 L</b>
Bandeja de cateterismo	150	56	84	112
Bandeja punção	150	56	84	112
Caixa pequena cirurgia	30	16	24	32
Caixa básica	15	10	12	20
Caixa vídeo geral	10	8	12	16

Quadro 13 - Quantidade de caixas que cabem em cada equipamento

Fonte: Elaboração própria (2024).

O quadro 14 descreve a quantidade de ciclos diários possíveis em diversos equipamentos de esterilização, abrangendo Termodesinfectora e Autoclaves com capacidades distintas (566L, 704L e 878L). Inicialmente, sem a utilização de redutores de capacidade, a Termodesinfectora pode realizar até 16 ciclos por dia, enquanto cada uma das Autoclaves de 566L, 704L e 878L consegue realizar 10 ciclos diários. Contudo, após a implementação do redutor de capacidade, esses números sofrem redução. A Termodesinfectora passa a realizar até 10 ciclos diários, e cada Autoclave, independentemente da capacidade, consegue realizar 6 ciclos por dia. Lembrando que foi adotado um redutor de capacidade no modelo de 66% para garantir que os equipamentos e funcionários terão capacidade suficiente para processar também os demais materiais que não estão sendo considerados no modelo. Estes dados são de suma importância para o planejamento operacional da esterilização de equipamentos e materiais médicos, possibilitando uma distribuição eficaz da carga de trabalho durante o dia e maximizando a utilização dos equipamentos disponíveis.

	Termo	Autoclave 566L	Autoclave 704L	Autoclave 878L
Quant de ciclos por dia	16	10	10	10
Após uso do redutor de capacidade	10	6	6	6

Quadro 14 - Quantidade de ciclos por dia

Fonte: Elaboração própria (2024).

Para executar a esterilização, são essenciais diversos recursos humanos e materiais. Dentro do serviço de esterilização, os profissionais diretamente envolvidos são os técnicos e os enfermeiros especializados. Os técnicos assumem a responsabilidade pela limpeza e desinfecção dos instrumentos, enquanto os enfermeiros de esterilização cuidam do acondicionamento dos instrumentos e supervisionam o processo de esterilização.

O quadro 15 apresenta o tempo necessário para preparar uma única caixa, em minutos, e a quantidade de caixas que podem ser preparadas

em um dia, considerando um total de 1440 minutos, o equivalente a 24 horas. Para a preparação da Bandeja de Cateterismo Vesical e da Bandeja de Punção Profunda, são necessários 6 minutos para cada caixa, permitindo a preparação de até 240 caixas por dia para cada tipo. Para a Caixa Pequena de Cirurgia, o tempo de preparação é de 12 minutos, resultando em um total de 120 caixas preparadas diariamente. A Caixa Básica requer 16 minutos para preparação, permitindo a preparação de até 90 caixas por dia. Por fim, a Caixa de Vídeo Geral requer 27 minutos para preparação, o que permite a preparação de 53 caixas diariamente. Esses dados fornecem uma visão clara da capacidade dos funcionários de preparar diferentes tipos de caixas dentro de um período de trabalho definido, auxiliando no planejamento operacional e na gestão eficiente dos recursos humanos.

	Tempo para preparar uma caixa (em min)	Quant de caixas preparadas em 1 dia (1440 min em 24h)
Bandeja cateterismo vesical	6	240
Bandeja punção profunda	6	240
Caixa pequena cirurgia	12	120
Caixa básica	16	90
Caixa vídeo geral	27	53

Quadro 15 - Capacidade dos funcionários

Fonte: Elaboração própria (2024).

A demanda dos DMR é outro elemento importante para o modelo, por isso, a seguir, é apresentado como foi levantando a demanda total.

Primeiro, foi feito um levantamento do volume de procedimentos realizados em 2022 em cada hospital. Os procedimentos foram classificados do maior para o menor e foi feito um gráfico de Pareto para considerar aqueles procedimentos que representam 80% do volume total de procedimentos realizados em 2022. A lista dos procedimentos (cerca de 150 tipos de procedimentos) foi enviada para a enfermeira líder do CME de cada hospital para que ela listasse quais materiais (caixas e bandejas) são utilizados em cada procedimento. Com essa relação de procedimento

versus caixa, foi feito o cálculo de quantas vezes uma caixa foi usada no ano de 2022, considerando o volume de cirurgias realizadas no hospital.

Foram considerados os 5 materiais mais utilizados: Bandeja de Cateterismo Vesical, Bandeja de Punção Venosa, Caixa Pequena de Cirurgia, Caixa Básica e Caixa de Vídeo, para cada material são fornecidos os números correspondentes de demanda anual de 2022 em cada local (H1, H2, H3 e H4), apresentado no quadro 16. Por exemplo, para a Bandeja de Cateterismo Vesical, o hospital H1 demandou 11.375 caixas, enquanto o hospital H2 demandou 1.001 caixas, o H3 demandou 1.936 caixas e o H4 demandou 3.448 caixas.

Material	H1	H2	H3	H4
Bandeja cateterismo vesical	11375	1001	1936	3448
Bandeja punção venosa	11731	255	1951	2944
Caixa pequena cirurgia (P)	2745	106	14	391
Caixa básica (M)	2873	1935	1543	1454
Caixa de vídeo (G)	1607	622	6	700
% representa do total do volume	65,72%	27,55%	66,48%	47,80%

Quadro 16 - Demanda anual por caixas de 2022

Fonte: Elaboração própria (2024).

Em seguida, foi calculada a demanda diária máxima de cada tipo de caixa, para se considerar no modelo, apresentada no quadro 17. Foi considerado máximo ao invés da média, para se considerar o pior cenário de demanda. Por exemplo, o hospital H1 utilizou a Bandeja de Cateterismo em 58 cirurgias no mesmo dia, enquanto o H2 teve uma demanda máxima diária de 10 unidades, o H3 teve uma demanda máxima diária de 16 unidades e o H4 teve uma demanda máxima diária de 25 unidades.

	Bandeja cateterismo	Bandeja punção	Caixa pequena cirurgia (P)	Caixa básica (M)	Caixa de vídeo (G)
H1	58	61	22	20	16
H2	10	4	3	15	7
H3	16	16	1	14	1
H4	25	24	6	14	7

Quadro 17 - Demanda diária por caixas (valor máximo diário em 2022)

Fonte: Elaboração própria (2024).

Ao longo desta seção, foram detalhados elementos cruciais para o entendimento e planejamento da rede de esterilização hospitalar, que compreende a capacidade e a demanda dos hospitais integrantes. Inicialmente, foram apresentadas as informações referentes à capacidade dos equipamentos e funcionários em cada unidade hospitalar, determinando a distribuição dos equipamentos, como Termodesinfectora e Autoclaves, e sua respectiva capacidade de processamento de diferentes tipos de caixas. Além disso, foi abordada a demanda diária máxima por caixas, fornecendo uma visão abrangente das necessidades específicas de cada hospital. Por meio da análise da demanda anual e diária, foi possível identificar os materiais mais utilizados, como Bandejas de Cateterismo e Caixas de Vídeo, e assegurar que a capacidade dos equipamentos e funcionários seja suficiente para atender a essas demandas. Essas informações são fundamentais para o desenvolvimento do modelo matemático de centralização de uma rede de esterilização de forma a aplicar estratégias eficazes de gestão de recursos e garantia da qualidade dos serviços de esterilização, contribuindo para a eficiência dos procedimentos médicos realizados nos hospitais integrantes da rede de esterilização.

### 5.2.3

#### **Resultados da aplicação do modelo matemático**

Os resultados da aplicação do modelo são apresentados a seguir, relativos a cada cenário obtido a partir de sua aplicação. O custo total anual estimado em reais é apresentado, seguido do hospital selecionado para manter a CME centralizada. A quantidade de equipamentos e a quantidade de pessoas necessárias na área de preparo também são apresentadas para cada cenário.

Além do caso base (cenário 1), foram testados outros 3 cenários, para se estudar o efeito da alteração dos parâmetros do problema.

#### Cenário 1: cenário atual (capacidade atual dos equipamentos)

Neste cenário foram consideradas as capacidades existentes no momento do levantamento realizado em cada CME e o modelo selecionou o CME 2, que apresenta um custo total anual estimado em 30 milhões. Para esse cenário, seriam necessárias apenas 2 autoclaves, ao invés de 3 como disponível atualmente na unidade estudada. Com isso, ter-se-ia uma redução de custos, em manutenção e insumos, relacionados a essa terceira autoclave.

Como em cada unidade há uma autoclave de tamanho diferente, foi considerada a possibilidade de alteração das capacidades das autoclaves, no modelo, dada a viabilidade de transferências desses equipamentos de uma unidade para a outra. Dessa forma, os demais cenários são definidos.

#### Cenário 2: Considerando o CME 3 com autoclave do CME 1 de 878L

Atualmente o CME 3 possui 2 autoclaves de 566L. Neste cenário, a intenção era verificar se ao aumentar a capacidade das autoclaves para de 878L, o modelo iria escolher outro CME. Com esta mudança nas capacidades, o modelo selecionou o CME 3 com um custo total anual estimado em R\$ 20.375.546,90. Logo, esse cenário apresentaria uma economia de quase 10 milhões.

#### Cenário 3: Considerando o CME 3 com autoclave do CME 2 de 704L

Neste cenário, a intenção era verificar se ao aumentar a capacidade das autoclaves para de 704L, o modelo iria continuar na escolha do CME 3 ou escolher outro CME. Com esta mudança nas capacidades, o modelo selecionou o CME 3 com um custo total anual estimado em R\$ 20.383.066,90. Com isso, podemos perceber que não há a necessidade de ter autoclaves de capacidade maior com a demanda atual dessas 3 unidades. Essa decisão, pelo contrário, geraria um custo total anual maior que o cenário 2.

#### Cenário 4: Considerando o CME 1 com autoclave do CME 2 de 704L

Com o cenário 3, foi possível observar que não há a necessidade de autoclaves de 878L. Atualmente, o CME 1 possui 2 autoclaves de 878L e, possivelmente por isso, esse CME não foi selecionado pelo modelo. Logo, a intenção do cenário 4 é diminuir a capacidade das autoclaves a fim de verificar se, nesse caso, esse CME seria escolhido. Porém, apesar de diminuir a capacidade da autoclave, o modelo selecionou o CME 2, voltando-se a um custo total anual estimado em 30 milhões.

Com esses resultados, pode-se chegar à conclusão de que para a demanda atual das 4 unidades, em relação à capacidade, são necessárias uma termodesinfectora e duas autoclaves de 704L. A quantidade de pessoas no preparo foi igual em todos os cenários: 8 pessoas (4 por turno).

Porém, vale registrar a importância de se fazer uma previsão de demanda para os próximos anos, a fim de saber se essa demanda pode vir a aumentar. Em caso positivo, seria interessante levar em consideração o resultado do cenário 2, onde temos uma capacidade maior e em menor custo.

O Quadro 18 apresenta uma síntese dos resultados obtidos com os quatro cenários estudados.

	Custo total anual estimado de operação	CME aberta	Quantidade de equipamentos	Quantidade de pessoas no preparo
Cenário 1	R\$ 30.126.907,90	CME 2	1 Termo, 2 Autoclaves de 704L	8 (4 por turno)
Cenário 2	R\$ 20.375.546,90	CME 3	1 Termo, 2 Autoclaves de 878L	8 (4 por turno)
Cenário 3	R\$ 20.383.066,90	CME 3	1 Termo, 2 Autoclaves de 704L	8 (4 por turno)
Cenário 4	R\$ 30.126.907,90	CME 2	1 Termo, 2 Autoclaves de 704L	8 (4 por turno)

Quadro 18 - Resultados do modelo matemático

Fonte: Elaboração própria (2024).

O Quadro 19 apresenta um resumo dos resultados do modelo de otimização incluindo número de restrições, variáveis, parâmetros, o solver utilizado, a solução ótima e o tempo de solução em segundos.

Cenários	Restrições	Variáveis	Parâmetros	Solver	Solução ótima	Tempo de solução (segundos)
#1	8	63	142	GLPK_MI	30.126.907,90	1.039e-02
#2	8	63	142	GLPK_MI	20.375.546,90	1.457e-02
#3	8	63	142	GLPK_MI	20.383.066,90	1.569e-02
#4	8	63	142	GLPK_MI	30.126.907,90	1.818e-02

Quadro 19 - Resumo dos resultados do modelo de otimização

Fonte: Elaboração própria (2024).

## 6 Discussões

O capítulo 6 tem como intuito apresentar a discussão dos resultados da presente pesquisa. Dessa forma, a seção 6.1 apresenta uma comparação do modelo proposto no capítulo anterior com os encontrados na literatura, apresentados no capítulo 4.4. Na seção 6.2 são discutidos os *trade-offs* que precisam ser considerados para definição de nível de serviço.

### 6.1 Modelo proposto *versus* modelos da literatura

Na seção 5.2 foi descrito a aplicação do modelo matemático para apoiar na decisão da unidade centralizadora. O modelo matemático proposto tem semelhanças com os modelos encontrados na revisão de escopo, mas também há características distintas.

O modelo matemático proposto na presente pesquisa é uma inspiração e evolução dos trabalhos encontrados na revisão da literatura, eles contribuíram de forma significativa para aprimoramento e desenho do modelo proposto pela autora. Pode-se perceber que cada um deles trazem um elemento diferente, agregando mais aspectos até chegar no modelo matemático que apoia na decisão da escolha da unidade centralizadora em uma rede de hospitais.

A figura 7 analisa a evolução dos trabalhos relacionados à decisão entre centralizar ou descentralizar a operação de esterilização em hospitais, considerando diferentes modelos e abordagens. Os autores Elshafei (1975) e Tlahig (2009) propõem modelos distintos para determinar a localização, alocação e capacidade dos Centros de Material Esterilizado (CME) em hospitais. No entanto, é destacado que os modelos apresentados não garantem a otimização global, pois os problemas são resolvidos separadamente. Tlahig (2013) traz uma abordagem com um

único modelo de localização-alocação e utiliza uma rede de hospitais projetando a centralização do processo de esterilização em um dos hospitais, porém é considerado complexo por Saif e Elhedhli (2019) devido ao grande número de variáveis e restrições no modelo proposto, além de considerar as suposições do modelo bastante restritivas e algumas delas irrealistas.

Saif e Elhedhli (2019) considera esquemas de esterilização distribuída, centralizada e centralizada com arsenal em cada hospital utilizando Programa de minimização côncavo inteiro misto (MISOCP), e ao contrário de Tlahig et al. (2013), não estipula que todos os hospitais devam ter a mesma escolha entre realizar as funções de esterilização internamente ou usar um CC centralizado, indicando uma evolução na metodologia de análise. Porém os resultados podem não refletir a complexidade do mundo real devido à natureza estimada e hipotética dos dados.

Já no presente trabalho, a abordagem do modelo matemático de esterilização centralizada é mais simples pois é utilizado Programa Linear Inteiro Misto (MILP) em linguagem de programação Python e, diferente dos trabalhos anteriores, são utilizados dados completamente reais já que a autora se encontra dentro do objeto e utiliza metodologia de pesquisa-ação.

A análise dos trabalhos destaca a variedade de abordagens para a decisão entre centralização e descentralização do processo de esterilização em hospitais. Os modelos propostos pelos autores visam determinar a localização, alocação e capacidade dos Departamentos Centrais de Material Esterilizado (CME) em hospitais, levando em consideração a demanda e capacidade da rede hospitalar. Enquanto alguns modelos propõem a escolha entre esterilização interna em cada hospital ou um serviço centralizado, outros consideram esquemas mais complexos, como a esterilização centralizada com arsenal em cada hospital. No entanto, é ressaltado que a abordagem utilizada pelos trabalhos anteriores pode não garantir a otimização global, devido à resolução separada dos problemas de localização, alocação e capacidade,

e à natureza estimada e hipotética dos dados utilizados, que podem não refletir a realidade. Já o modelo aqui proposto garante a otimização global, pois utiliza apenas um modelo matemático para resolver o problema.

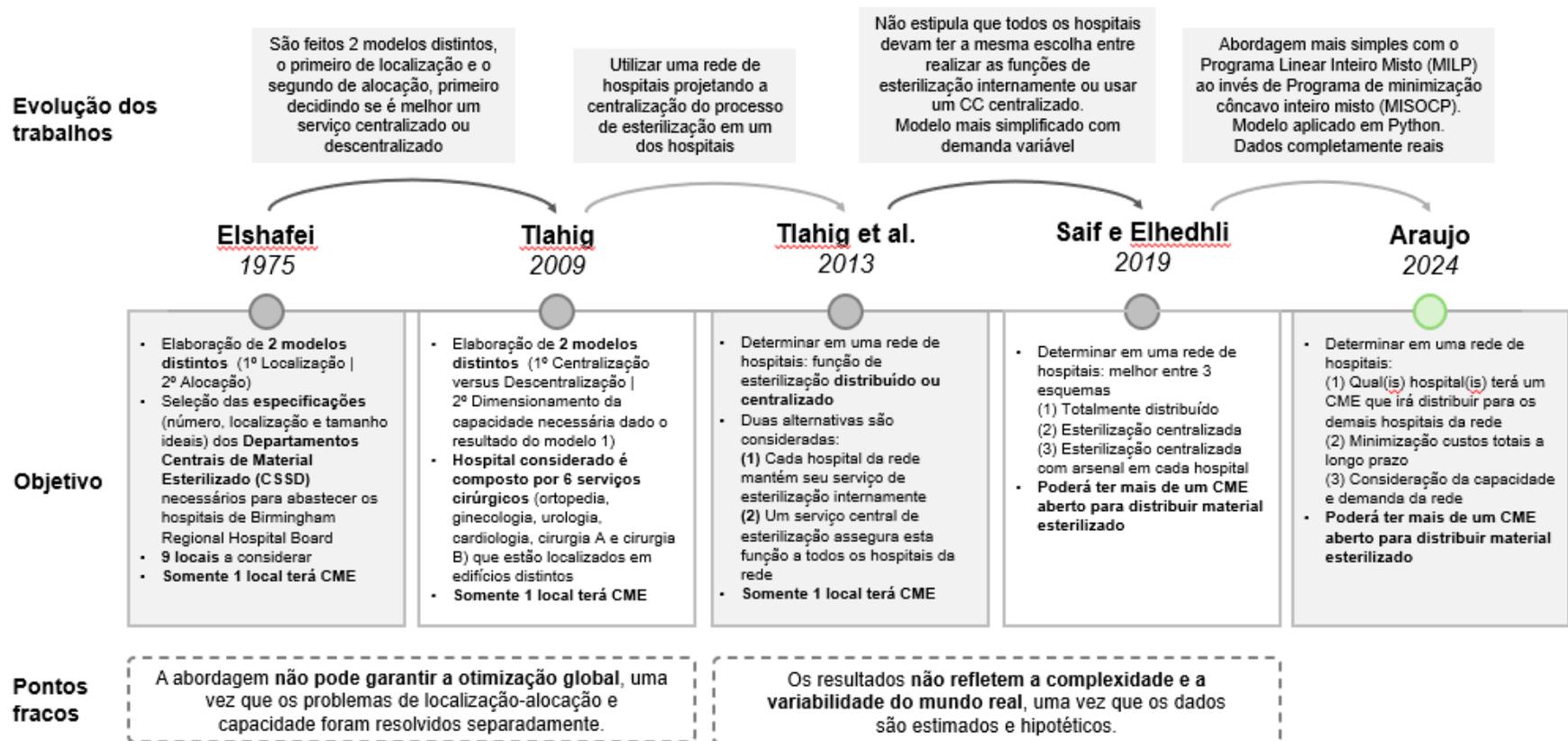


Figura 7 - Linha do Tempo

Fonte: Elaboração própria (2024)

O quadro 20 apresenta uma comparação entre os 5 trabalhos com modelos matemáticos de centralização encontrados na literatura e o presente trabalho, destacando seus objetivos, modelos utilizados, dados empregados, métodos de solução e software utilizado. Os trabalhos incluem estudos de Elshafei (1975), Tlahig (2009), Tlahig et al. (2013), Saif e Elhedhli (2019), Said (2021) e a presente pesquisa. Cada trabalho tem um objetivo específico, como minimizar custos, encontrar a configuração ótima, desenhar viagens logísticas ou minimizar o custo total de longo prazo. A quantidade de locais considerados varia de acordo com o estudo, indo de 9 a 3 hospitais, com diferentes modelos de abordagem e quantidades de CME (Centro de Material Esterilizado) a serem abertas. Alguns estudos utilizam dois modelos distintos, como o de localização e alocação, enquanto outros se concentram em um único modelo. Os dados empregados podem ser estimados, teóricos ou completamente reais, dependendo da disponibilidade e da natureza do estudo. Quanto aos métodos de solução, são utilizadas diversas abordagens, como Programação Linear Inteira (ILP), que é um método de otimização onde a função objetivo e as restrições são lineares, e todas as variáveis de decisão são restritas a valores inteiros, Programa Linear Inteiro Misto (MILP), onde algumas variáveis de decisão são restritas a valores inteiros e outras podem ser contínuas e Programa de minimização côncavo inteiro misto (MISOCP), tipo de otimização que combina variáveis inteiras e contínuas em um problema onde a função objetivo ou algumas das restrições podem ser côncavas. Cada trabalho utiliza-se de softwares comerciais, como LINGO, que oferece um ambiente para modelagem e resolução de problemas de programação linear, não-linear, inteira, e outras variantes, IBM ILOG CPLEX, que resolve problemas de programação linear, inteira mista e quadrática. É amplamente utilizado em pesquisa operacional e aplicações industriais, Gurobi que oferece suporte a problemas de programação linear, inteira mista, não-linear e quadrática, conhecido por sua velocidade e eficiência.

Além disso, observa-se a utilização de programação em Python somente na presente pesquisa. Usar Python para resolver problemas de

otimização oferece flexibilidade, custo reduzido e facilidade de integração. Essas comparações são valiosas para entender as diferentes abordagens e contribuições de cada trabalho para o campo da centralização de atividades de esterilização hospitalar.

	<b>Elshafei 1975</b>	<b>Tlahig 2009</b>	<b>Tlahig et al. 2013</b>	<b>Saif e Elhedhli 2019</b>	<b>Said 2021</b>	<b>Araujo 2024</b>
Objetivo	Selecionar o número, localização e tamanho ideais minimizando custos	Buscar a configuração ótima que minimize o custo da atividade de esterilização; encontrar o dimensionamento adequado,	Minimizar os custos relacionados ao transporte, produção e aquisição e transferência de recursos	Minimizar os custos de capacidade, transporte e manutenção	Desenhar viagens logísticas entre a rede de hospitais e o centro de esterilização, minimizando os custos de transporte	Minimizar o custo total de longo prazo de rede de esterilização
Modelo para uma rede?	X	X	X	X	X	X
Quantos locais a considerar?	Abastecer os hospitais do Birmingham Regional Hospital Board. Havia <b>9</b> locais a considerar.	O hospital é composto por seis serviços cirúrgicos (ortopedia, ginecologia, urologia, cardiologia, cirurgia A e cirurgia B) em edifícios distintos.	Baseado em um estudo de caso real na França: uma rede de <b>9</b> hospitais localizados na mesma região	Rede de hospitais públicos de Ontário, 20 hospitais. Agruparam alguns próximos e trabalharam com 15 pontos no modelo.	5 locais, hospitais da França.	3 hospitais particulares do Brasil
Quantas CME abrir?	1	1	1	+1	NA	+1
Um ou dois modelos?	2 modelos distintos, um de localização e o segundo de alocação.	2 modelos distintos, um de localização e o segundo de alocação	1 modelo de localização-alocação.	1 modelo de localização-alocação.	1 modelo de roteamento de veículos	1 modelo de localização-alocação.
Dados reais ou estimados?	Custos estimados	Custos e capacidades estimados	Custos variáveis estimados	Dados estimados e hipotéticos	Dados teóricos	Dados completamente reais
Modelo de otimização utilizado	Programa Linear Inteiro Misto (MILP)	Programação Linear Inteira (ILP) e Programa Linear Inteiro Misto (MILP)	Programa Linear Inteiro Misto (MILP)	Programa de minimização côncavo inteiro misto (MISOCP)	Programação Linear Inteira (ILP)	Programa Linear Inteiro Misto (MILP)
Software comercial?	IBM 360/44	LINGO 8.0	IBM ILOG CPLEX 12.2	Gurobi 7.5.1	CPLEX 12.6 Optimizer	Não
Programação Python	Não	Não	Não	Não	Não	X

Quadro 20 - Principais comparações entre os trabalhos

Fonte: Elaboração própria (2024).

O quadro 21 compara os custos que compõem a função objetivo dos modelos matemáticos em diferentes artigos encontrados na literatura, juntamente com um trabalho presente. Cada coluna representa um autor e o ano de publicação do trabalho correspondente. Os custos considerados são divididos em diferentes categorias. Os custos fixos são descritos como investimento, manutenção, despesas gerais e salários de pessoal, enquanto os custos variáveis englobam matéria-prima, mão de obra, fiscalização, transporte, energia, entre outros. Quanto aos custos de transporte, alguns trabalhos os consideram como fixos ou variáveis, dependendo da distância, e há menção sobre o custo de oportunidade, especialmente se o Centro de Material Esterilizado (CME) for convertido em salas cirúrgicas. Os custos são geralmente estimados, mas a presente pesquisa apresenta dados reais. Essa comparação fornece uma visão abrangente das diferentes abordagens adotadas pelos autores em relação aos custos em seus modelos matemáticos, destacando as especificidades de cada estudo e as considerações feitas para a elaboração das funções objetivas.

O trabalho de Saidi (2021) já considera uma rede de esterilização centralizada, conforme relatado, por isso não será comparado com o modelo matemático proposto.

Dado um centro de esterilização centralizado onde está sediado um conjunto de veículos idênticos, e uma rede hospitalar com um conjunto de hospitais onde cada hospital tem um conjunto de demandas de dispositivos médicos a serem recolhidos, esterilizados e devolvidos. O objetivo é satisfazer essas demandas determinando um conjunto de viagens e atribuir cada um deles a um veículo, minimizando o custo total da viagem.

	<b>Elshafei</b> 1975	<b>Tlahig</b> 2009	<b>Tlahig et al.</b> 2013	<b>Saif e Elhedhli</b> 2019	<b>Araujo</b> 2024
Custos fixos	Custo de investimento, manutenção, despesas gerais	Pagamento de recursos humanos, aquisição de equipamentos etc.	Incorridos por salários de pessoal, edificações, móveis, equipamentos, manutenção e veículos.	Não especifica. Só coloca um valor de \$10.000	Custo de Aluguel, custo de depreciação de equipamento e custo de pessoal
Custos variáveis	Matéria-prima, mão de obra, fiscalização, transporte, energia e outros	São compostos por custos operacionais e de compra, consumo de energia e água etc.	Não especifica.	Assumiu uma função de custo variável côncava que depende da área; manutenção de estoque de DMR e custos de recursos.	Custo de manutenção e funcionamento de equipamento, custo de manutenção de DMR, custo de ciclo.
Custos de transporte	Função linear da distância em milhas rodoviárias	Os custos de entrega são considerados custos fixos	Custos de entrega são tratados como custos variáveis	Custo de transporte proporcional à distância	Custo de transporte proporcional à distância
Custo de oportunidade	Não é abordado	Não é abordado	Não é abordado	Não é abordado	Custo depende da área da CME, caso o CME vire salas cirúrgicas
Custos estimados ou reais?	Estimados	Estimados	Estimados	Estimados	Reais

Quadro 21 - Comparação dos custos da função objetivo dos modelos

Fonte: Elaboração própria (2024).

Também foi feita uma análise comparativa das premissas adotadas pelos modelos matemáticos de centralização da rede de esterilização encontrados na literatura e o modelo aqui proposto, que é apresentada no quadro 22. As premissas abordam uma variedade de aspectos, como otimização do modelo, decisões sobre a localização do serviço de esterilização, consideração de potenciais locais para o Centro de Material Esterilizado (CME), estoque, custos de transição, custos de transporte, custos de manutenção, recursos humanos e materiais, tipos de materiais considerados, e a natureza determinística da demanda. Essa análise destaca a diversidade de abordagens e considerações presentes nos modelos de centralização da operação de Centros de Material e Esterilização (CME) em hospitais. Cada premissa reflete escolhas específicas dos autores.

<b>PREMISSAS</b>	<b>Elshafei (1975)</b>	<b>Tlahig (2009)</b>	<b>Tlahig et al. (2013)</b>	<b>Saif e Elhedhli (2019)</b>	<b>Araujo (2024)</b>
Otimização para localização, capacidade, atribuição, estoque de DMR e níveis de recursos simultaneamente, não sequencialmente, o que retorna melhores soluções.	Não	Não	Sim	Sim	Sim
Foi considerado que se a decisão de mudança para um CME for tomada em um determinado período, ela permanecerá a mesma para os próximos períodos do horizonte de planejamento.	Não foi comentado	Não foi comentado	Sim	Não foi comentado	Sim
A decisão sobre a localização do serviço de esterilização envolve todos os hospitais da rede: todos os hospitais considerados têm que tomar a mesma decisão ao escolher entre organização centralizada e distribuída.	Não foi comentado	Não foi comentado	Sim	Não	Sim
Os locais potenciais CME são conhecidos (hospitais existentes bem como potenciais novos locais).	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Todos os locais potenciais CME são considerados para ser o CME centralizado.	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
O CME centralizado poderá ficar em um novo local.	Não	Não	Sim	Não	Não
É considerado apenas um CME para todos os hospitais da rede.	Sim	Sim	Sim	Não	Não
É considerado que pode haver mais de um CME para a rede, porém dois hospitais não podem ser atendidos por CME diferentes	Não	Não	Não	Sim	Sim
É considerado que o hospital onde terá o CME centralizado também vai centralizar o estoque.	Não foi comentado	Não foi comentado	Não	Sim	Sim
Os níveis iniciais de estoque são considerados iguais a zero.	Não foi comentado	Sim	Sim	Não foi comentado	Sim
Níveis de estoque no CME centralizado não são considerados. Assim que a esterilização for concluída, os materiais são transferidos para o hospital apropriado.	Não foi comentado	Não foi comentado	Sim	Não foi comentado	Não
Um estoque de segurança é necessário para evitar o risco de ruptura, pois os itens podem ser perdidos, danificados ou desgastados. Além disso, esse estoque deve cobrir a demanda de emergência principalmente quando um hospital pode ser cortado de suprimentos	Não foi comentado	Sim	Sim	Sim	Não foi comentado
Os custos de transição incorridos para mudar do status quo para a nova configuração são insignificantes em comparação com os custos de estado estacionário, então eles são desconsiderados	Não foi comentado	Não foi comentado	Não foi comentado	Sim	Sim

<b>PREMISSAS</b>	<b>Elshafei (1975)</b>	<b>Tlahig (2009)</b>	<b>Tlahig et al. (2013)</b>	<b>Saif e Elhedhli (2019)</b>	<b>Araujo (2024)</b>
O custo de oportunidade é considerado (caso o CME vire salas cirúrgicas, por ser o serviço de maior rentabilidade)	Não foi comentado	Não foi comentado	Não foi comentado	Não foi comentado	Sim
O número de instrumentos a serem esterilizados (demanda) é dado e independe da configuração da rede	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Foi incluído no modelo o custo direto da esterilização que inclui energia, água e agentes químicos.	Sim	Sim	Não foi comentado	Não	Sim
Os custos de entrega são tratados como custos variáveis e dependem da distância entre o hospital e o local do CME.	Sim	Não	Sim	Sim	Sim
O custo de transporte proporcional à distância, estimado o valor gasto em média por unidade de tempo e/ou valor do combustível	Não foi comentado	Não foi comentado	Não foi comentado	Sim	Sim
Os custos de entrega são negligenciados no caso da estrutura de esterilização descentralizada devido às curtas distâncias percorridas.	Não foi comentado	Sim	Não foi comentado	Sim	Sim
Os veículos de entrega pertencem ao hospital.	Não foi comentado	Não foi comentado	Sim	Não foi comentado	Sim
Custos de manutenção dos materiais são considerados	Não	Não	Não	Sim	Sim
Custos de depreciação dos equipamentos são considerados	Não foi comentado	Não foi comentado	Não foi comentado	Não foi comentado	Sim
Os custos indiretos de equipamentos e mão de obra devem ser incluídos, pois esses custos dependem da configuração da rede.	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Não foi considerado custos de desligamento. Supõe-se que cada enfermeiro/técnico seja transferido para o CME ou para outro serviço em seu hospital de origem.	Não foi comentado	Não foi comentado	Sim	Não foi comentado	Sim
Os custos relacionados ao armazenamento de DMRs próximo às salas de operação e suas movimentações dentro dos hospitais não foram incluídos, pois esses custos serão incorridos independentemente da configuração da rede.	Não foi comentado	Não foi comentado	Não foi comentado	Sim	Sim
Os custos de transferência de recursos humanos são representados pela remuneração paga a cada enfermeiro/técnico cuja função muda. Essa remuneração depende da distância entre o hospital onde o enfermeiro está trabalhando atualmente e o CME centralizado.	Não foi comentado	Não foi comentado	Sim	Não foi comentado	Não

<b>PREMISSAS</b>	<b>Elshafei (1975)</b>	<b>Tlahig (2009)</b>	<b>Tlahig et al. (2013)</b>	<b>Saif e Elhedhli (2019)</b>	<b>Araujo (2024)</b>
O serviço de esterilização requer um conjunto de recursos humanos e materiais (enfermeiros, autoclaves etc.). Cada recurso tem uma determinada capacidade de produzir material esterilizado.	Não foi comentado	Sim	Sim	Sim	Sim
Dois recursos materiais são considerados: autoclaves e lavadoras automáticas	Não foi comentado	Não	Sim	Sim	Sim
São considerados dois tipos de recursos humanos essenciais para a realização da atividade de esterilização: técnicos e enfermeiros de esterilização.	Não foi comentado	Não	Sim	Não foi comentado	Sim
Foram considerados 5 tipos de materiais que são os mais utilizados nas cirurgias, com isso, foi utilizado um redutor de capacidade no modelo de 66% para garantir que terá capacidade suficiente para processar os demais materiais.	Não	Não foi comentado	Não	Não	Sim
A demanda é considerada determinística e baseada em dados históricos de demanda da atividade do bloco operatório.	Sim	Sim	Sim	Não	Sim

Quadro 22 - Análise comparativa das premissas adotadas entre os modelos

Fonte: Elaboração própria (2024).

É possível perceber a evolução e a complexidade crescente das abordagens ao longo do tempo. Os estudos revisados oferecem insights valiosos sobre diferentes estratégias para otimizar a operação de Centros de Material Esterilizado (CME), levando em consideração uma variedade de fatores, desde custos fixos e variáveis até premissas relacionadas à localização, transporte e recursos humanos. O modelo proposto nesta pesquisa se destaca pela sua simplicidade e pela utilização de dados completamente reais, obtidos por meio de uma metodologia de pesquisa-ação.

## 6.2

### ***Trade-offs* para definição do nível de serviço**

Vale ponderar que projetar e implantar a centralização de uma rede de esterilização é uma operação complexa, que exige considerar aspectos que não foram contemplados no modelo matemático, como por exemplo, o acesso a unidade para transporte dos materiais. Apesar do modelo apontar o CME 3 como de menor custo, ele possui um acesso em aclive que dificulta o transporte de materiais diariamente. Outro ponto relevante, nesse sentido, é que apesar do modelo matemático centralizar tanto a operação quanto o estoque na unidade centralizadora, cabe ponderar a necessidade de um estoque menor em cada unidade, a fim de ter contingência em caso de atraso de material e esse cálculo não é contemplado no modelo.

Dessa forma, esta seção aborda os *trade-offs* que devem ser considerados para a definição do nível de serviço de uma operação centralizada de esterilização, considerando-se aspectos como tempo de transporte e processamento, custos com redimensionamento de inventário e lógica de produção.

- Tempo de transporte vs. roteirização

A decisão de roteirização da entrega de material processado impacta no tempo de transporte e, conseqüentemente, no nível de serviço da rede de esterilização. Por um lado, decidir coletar os materiais sujos em um hospital, levar para a unidade centralizadora,

processar e, assim que tiver processado, levar de volta para o hospital, viabilizará um tempo de transporte o menor possível e não exigirá aumento expressivo do inventário. Por outro lado, se a decisão de roteirização for coletar os materiais sujos de todos os hospitais, processar tudo e só entregar quando tiver todos prontos, será necessário aumentar o arsenal para compensação do maior tempo de espera. No primeiro cenário, tem-se mais viagens e o custo de transporte aumentará. No segundo cenário, reduz-se o custo de transporte com a quantidade de viagens, porém há um risco maior de falta de material, caso não se aumente o inventário.

- Tempo de processamento vs. sequenciamento

A decisão de sequenciamento do processamento dos materiais sujos é outro aspecto importante a ser considerado para o nível de serviço. Levando em consideração que o tempo de processamento de um material do início ao fim do processo dura em torno de 12 horas, ao decidir processar primeiro os materiais de um só hospital, os materiais do segundo, terceiro e quarto hospital vão precisar esperar 12, 24 e 36 horas conseqüentemente. Por outro lado, se a decisão for fazer um mix de materiais dos 4 hospitais para ser processado ao mesmo tempo, tem-se uma entrega de material para cada hospital em até 12 horas. Nesse caso, seria possível projetar essa composição a partir da priorização do mapa cirúrgico de cada unidade.

- Roteirização e Sequenciamento vs. Redimensionamento do inventário

As decisões de roteirização e sequenciamento tomadas impactam no redimensionamento do arsenal. Se a decisão de roteirização acarretar maior tempo de transporte, será necessário aumentar a quantidade de caixas de cada tipo (aumento do inventário) para que não haja falta de material limpo e estéril no hospital. O mesmo acontece caso a decisão tomada de sequenciamento seja processar

todo o material de cada hospital por vez, o que aumenta o tempo de processamento para cada hospital.

- Regras de agendamento das cirurgias vs. Consumo das caixas  
Outro aspecto importante a se considerar é o mapa cirúrgico do hospital. Caso tenhamos 2 cirurgias no mesmo dia que consumam o mesmo material e o tempo entre recolher o material sujo e entregar o material limpo seja muito grande, é necessário garantir que se tenha outro material equivalente limpo e estéril no hospital para a próxima cirurgia. Logo, a regra de agendamento de cirurgia do hospital tem que estar alinhada com o processamento de materiais, garantindo o nível de serviço.

## 7

### Conclusão

O objetivo central da pesquisa foi desenvolver um modelo para apoiar a decisão de criação de uma unidade centralizadora de esterilização em uma rede de hospitais no Brasil. Para isso, primeiramente, foram identificados os benefícios da centralização da operação do centro de material e esterilização, através de um levantamento na literatura e foram identificados os modelos matemáticos existentes para minimizar o custo total da rede de esterilização, através de uma revisão de escopo. Por meio desse levantamento foi possível fazer um comparativo entre os artigos encontrados e o presente trabalho, além de evidenciar a evolução dos métodos e abordagens de modelos para uma rede de esterilização centralizada. Assim, respondendo a PP1 e PP2.

Já a pesquisa-ação foi utilizada para responder a PP3 e PP4, com essa abordagem metodológica de participação ativa e ocorrência simultânea à ação, foi possível explorar a operação de quatro Centros de Material e Esterilização, através de entrevistas e visitas de campo que resultaram no melhor entendimento, descrição e modelagem do processo de esterilização de materiais hospitalares. Além disso, trouxe aspectos importantes para o desenvolvimento e aplicação do modelo matemático para uma rede de esterilização centralizada, auxiliando na decisão de qual unidade receberá a operação dos demais hospitais.

A construção do modelo se deu através do desenvolvimento e aplicação de um problema de Programação Linear Inteira Mista (MILP) em linguagem de programação Python. O modelo oferece uma abordagem eficiente e prática para auxiliar na decisão da unidade centralizadora de esterilização em uma rede de hospitais. Apesar do modelo permitir abrir mais de um CME para atender toda a demanda da rede de esterilização, o modelo resulta que abrir um CME centralizado é suficiente para atender os demais hospitais da rede de esterilização, selecionando o CME do H2, que apresenta um custo total anual estimado em 30 milhões. Para esse cenário, seriam necessárias apenas 2 autoclaves, ao invés de 3 como disponível

atualmente na unidade estudada. Com isso, ter-se-ia uma redução de custos, em manutenção e insumos, relacionados a essa terceira autoclave.

Dado o resultado do modelo proposto, é feito um comparativo com os encontrados na literatura e essa análise forneceu uma visão abrangente das contribuições e limitações de cada abordagem, destacando a importância de considerar as especificidades de cada contexto na tomada de decisão. Dentre as principais diferenças destaca-se o fato de que a abordagem utilizada pelos trabalhos anteriores considera separadamente problemas de localização, alocação e capacidade e adota dados hipotéticos que não refletem a realidade e, por isso, pode não garantir a otimização global. Já o modelo proposto na presente pesquisa se preocupa em garantir a otimização global utilizando um único modelo matemático para resolver os problemas de localização, alocação e capacidade considerando dados completamente reais que refletem, portanto, a realidade.

Assim, a comparação do modelo proposto com os já existentes encontrados na literatura, assim como a revisão de escopo, representa uma contribuição deste trabalho para a academia. O modelo proposto nesta pesquisa, assim como a modelagem de processos, representa uma contribuição significativa para o campo da gestão hospitalar, em especial aos tomadores de decisão, por fornecer uma ferramenta robusta e adaptável que apoia na decisão de implementação de uma unidade centralizadora de esterilização em uma rede de hospitais. Essa variedade de abordagens reflete a complexidade do problema e destaca a importância contínua da pesquisa e inovação neste campo crucial da saúde pública.

Como limitações da pesquisa, os *trade-offs* que devem ser considerados para a definição do nível de serviço de uma operação centralizada de esterilização evidenciam a necessidade de considerar aspectos que não foram contemplados no modelo matemático, como por exemplo tempo de transporte e processamento, custos com redimensionamento de inventário e lógica de produção.

Apesar de a abordagem proposta capturar diversos aspectos essenciais dos processos de projeto de rede de esterilização e superar várias suposições simplificadas em estudos anteriores, ainda há espaço para ampliação.

Para os trabalhos futuros, há diversas direções promissoras que podem ser exploradas para aprimorar o modelo de centralização da operação de esterilização. Uma análise de sensibilidade dos custos seria crucial para compreender melhor como variações nos custos de manutenção, transporte, e outros afetam o desempenho geral do modelo. Além disso, uma análise de sensibilidade da demanda poderia ser realizada para avaliar como mudanças nas necessidades de esterilização dos hospitais impactam nas decisões de centralização. Adicionalmente, seria valioso explorar a continuidade do projeto de operações, considerando aspectos como roteirização, padronização de caixas, rastreabilidade dos itens, gerenciamento de inventário para garantir a disponibilidade contínua de materiais e tomada de decisão de aquisição de caixas e novos equipamentos para atender às demandas futuras. Ademais, projetar planos de contingência para lidar com situações imprevistas ou emergenciais poderia fortalecer a resiliência do sistema, assegurando sua capacidade de resposta diante de desafios inesperados. Essas abordagens poderiam fortalecer ainda mais o modelo proposto, tornando-o mais robusto e adaptável às necessidades em constante evolução dos sistemas de saúde.

Esses trabalhos futuros têm o potencial de ampliar o escopo da pesquisa atual e contribuir significativamente para o avanço do conhecimento e prática na área de centralização da operação de esterilização em redes hospitalares.

A análise e as propostas para o projeto das operações em uma rede de esterilização contribuem para uma compreensão aprofundada de uma área fundamental da saúde, com potencial para gerar um impacto significativo na redução de custos hospitalares. Quanto ao modelo resultante da pesquisa, apesar dele orientar um cenário de redução de custos e ser uma ferramenta potente para iniciar as discussões de centralização da operação de esterilização, ele isoladamente não é suficiente para indicar explicitamente uma definição de centralização visto

que seria necessário considerar outros aspectos, como por exemplo tempo de transporte e roteirização, tempo de processamento e sequenciamento, regras de agendamento das cirurgias e consumo das caixas.

## Referências Bibliográficas

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. Resolução da diretoria colegiada- RDC nº 15, de 15 de março de 2012. Disponível em: [www.abebrasil.org.br/imagem/pdf/RDC\\_15.pdf](http://www.abebrasil.org.br/imagem/pdf/RDC_15.pdf)

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. Resolução da diretoria colegiada- RDC nº 30, de 15 de fevereiro de 2006. Disponível em: [https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/2006/rdc0030\\_15\\_02\\_2006.html](https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/2006/rdc0030_15_02_2006.html)

ANDALIA, R. C; RODRÍGUEZ, M. N; MULET, N. L. Similitudes y diferencias entre PubMed, Embase y Scopus. **Revista Cubana de Información en Ciencias de la Salud (ACIMED)**, v. 26, n. 1, p. 84-91, 2015.

ANTONELLI, D; BRUNO, G; TAURINO, T. Analysis of patient flows in elective surgery: modelling and optimisation of the hospitalisation process. **International Journal of Services and Operations Management**, v. 31, n. 4, p. 513-529, 2018.

ARABANI, A. B; FARAHANI, R. Z. Dinâmica de localização de instalações: uma visão geral das classificações e aplicações. **Informática e Engenharia Industrial**, v. 62, n. 1, p. 408-420, 2012.

ARKSEY, H; O'MALLEY, L. Scoping studies: towards a methodological framework. **International Journal of Social Research Methodology**, v. 8, n. 1, p. 19-32, 2005.

ASSAD, D. B. N; SPIEGEL, T; DE VASCONCELOS SILVA, A. C. P. Improve Center of Sterilized Material Performance: A Discrete Event Simulation Model. In: Modeling and Simulation Techniques for Improved Business Processes. **IGI Global**, p. 113-139, 2018.

BASU, D. et al. Sterilization indicators in central sterile supply department: quality assurance and cost implications. **Infection Control & Hospital Epidemiology**, v. 36, n. 4, p. 484-486, 2015.

BERNARD, V.; LACROIX, P. Restructuring of a sterilization project in the framework of quality control. **ITBM RBM**, v. 22, n. 2, p. 116-124, 2001.

BOZARTH, C.C.; HANDFIELD, R. B.; WEISS, H. J. **Introduction to operations and supply chain management**. Upper Saddle River, NJ: Pearson Prentice Hall, 2008.

BRANDEAU, M. L.; SAINFORT, F.; PIERSKALLA, W. P. (Ed.). **Operations research and health care: a handbook of methods and applications**. Springer Science & Business Media, 2004.

BURNS, L. R.; LEE, J. A. Hospital purchasing alliances: Utilization, services, and performance. **Health Care Management Review**, v. 33, n. 3, p. 203-215, 2008.

CAMPBELL, J. F. Formulações de programação inteira para problemas de localização de hubs discretos. **European Journal of Operational Research**, v. 72, n. 2, p. 387-405, 1994.

CNSAUDE. Confederação Nacional de Saúde - Cenário dos Hospitais no Brasil – 2022. Disponível em: <http://cnsaude.org.br/wp-content/uploads/2022/07/CNSAUDE-FBH-CENARIOS-2022.pdf>

CONG, K. N.; DI MASCOLO, M.; GOUIN, A. Comparing the performance of some centralized sterilization services using a generic simulation model. In: **2009 International Conference on Computers & Industrial Engineering**. IEEE, 2009. p. 1804-1809.

COOPER, L. Location-allocation problems. **Operations research**, v. 11, n. 3, p. 331-343, 1963.

COSTA, J. A. **Atividades de enfermagem no Centro de Material e Esterilização: subsídios para o dimensionamento de pessoal**. Dissertação de Mestrado. Escola de Enfermagem da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

COSTA, Ricardo da et al. Reorganization of the central supply sterile department: nursing staff's contributions. **Texto & Contexto-Enfermagem**, v. 29, 2021.

COUGHLAN, P.; D. COUGHLAN. Action Research for Operations Management. **International Journal of Operations and Production Management**, v. 22, n. 2, p. 220-240, 2002.

DA VEIGA, S. G. **Proposição de modelo de referência para projeto de Centros de Material e Esterilização (CME)**, 2017. Dissertação de Mestrado - Engenharia de Produção. PUC-Rio.

- DAÚ, G. L. **Análise dos custos no processamento de caixas cirúrgicas de artroplastia de quadril**, 2018. Dissertação de Mestrado.
- DE VASCONCELOS SILVA, A. C. P. et al. May value-based healthcare practices contribute to comprehensive care for cancer patients? A systematic literature review. **Journal of Cancer Policy**, v. 34, p. 100350, 2022.
- DELLVE, L. et al. Health care clinicians' engagement in organizational redesign of care processes: the importance of work and organizational conditions. **Applied Ergonomics**, v. 68, p. 249-257, 2018.
- DI MASCOLO, M.; GOUIN, A. A generic simulation model to assess the performance of sterilization services in health establishments. **Health care management science**, v. 16, n. 1, p. 45-61, 2013.
- DI MASCOLO, M.; GOUIN, A.; CONG, K. N. Organization of the production of sterile medical devices. **IFAC Proceedings Volumes**, v. 39, n. 3, p. 35-40, 2006.
- DOS SANTOS, A. B. et al. Avaliação da utilização de instrumentais cirúrgicos em um centro cirúrgico ambulatorial. **Revista SOBCECC**, v. 22, n. 2, p. 76-81, 2017.
- DURSUM, M.; FINDIK, S. S.; GOKER, N. Business process reengineering in health-care sector: application for the central sterilization unit. **Kybernetes**, v. 51, n. 2, p. 715-744, 2022.
- ELSEVIER, Scopus. **Scopus Content Coverage Guide**. 2023.
- ELSHAFEI, A\_N. An approach to locational analysis. **Journal of the Operational Research Society**, v. 26, n. 1, p. 167-181, 1975.
- ESSOUSSI, I. E.; LADET, P. Towards resource pooling in cooperative health care networks: Case of medical supply centralization. In: **2009 International Conference on Computers & Industrial Engineering**. IEEE, 2009. p. 600-605.
- FALAGAS, M. E. et al. Comparison of SCImago journal rank indicator with journal impact factor. **The FASEB journal**, v. 22, n. 8, p. 2623-2628, 2008.
- FINDIK, A.; PINARER, O.; TURHAN, S. Laser barcode-based surgical instrument tracking system. In: **2017 25th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU)**. IEEE, 2017. p. 1-4.
- FINEMAN, S. J.; KAPADIA, A.S. An analysis of the logistics of supplying and processing sterilized items in hospitals. **Computers & Operations Research**, v. 5, n. 1, p. 47-54, 1978.
- FITZSIMMONS, J. A.; FITZSIMMONS, M. J. **Administração de Serviços:- Operações, Estratégia e Tecnologia da Informação**. Amgh Editora, 2014.
- GAO, B. C. NDWI—A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. **Remote sensing of environment**, v. 58, n. 3, p. 257-266, 1996.
- GAUTIER-RUBIO, M.; BOURDERY-PRIBAT, F.; MARQUE, V. Conception du service de stérilisation centralisé du groupe hospitalier Pellegrin au CHU de Bordeaux. **Actualités pharmaceutiques hospitalières**, v. 2, n. 5, p. 35-38, 2006.
- GIL, Antonio Carlos. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6. ed. Editora Atlas SA, 2008.
- GINO, F.; PISANO, G. Toward a Theory of Behavioral Operations. **Manufacturing & Service Operations Management**, v. 10, n. 4, p. 676-691, 2008.
- GIOVANELLA, L. Atenção básica ou atenção primária à saúde? **Cadernos de Saúde Pública**, v. 34, 2018.
- GOLDSTEIN, S. M. Employee development: an examination of service strategy in a high-contact service environment. **Production and Operations Management**, v. 12, n. 2, p. 186-203, 2003.

- GOLDSTEIN, S. M; IOSSIFOVA, A. R. Ten years after: Interference of hospital slack in process performance benefits of quality practices. **Journal of Operations Management**, v. 30, n. 1-2, p. 44-54, 2012.
- GONÇALVES, J. E. L. As empresas são grandes coleções de processos. **Revista de administração de empresas**, v. 40, n. 1, p. 6-9, 2000.
- GRANT, M. J.; BOOTH, A. A typology of reviews: an analysis of 14 review types and associated methodologies. **Health information & libraries journal**, v. 26, n. 2, p. 91-108, 2009.
- GRAZIANO, K. U. et al. Critérios para avaliação de novas tecnologias para esterilização. **Revista Sobecc**, v. 22, n. 3, p. 171-177, 2017.
- GRIFFIN, P. M. et al. Healthcare systems engineering. **John Wiley & Sons**, 2016.
- HART, C. Doing a Literature Review: Releasing the Social Science Research Imagination. **Sage Publications Ltd.**, 1998.
- HAYES, R. H.; UPTON, D.; PISANO, G. **Produção, estratégia e tecnologia: em busca da vantagem competitiva**. Bookman, 2008.
- HOEFEL, H. H. K. et al. Bundles for the central sterile supply department. **American Journal of Infection Control**, v. 47, n. 11, p. 1352–1357, 2019.
- HOPP, W. J.; LOVEJOY, W. S. **Hospital operations: Principles of high-efficiency health care**. FT Press, 2012.
- JHA, R. K.; SAHAY, B. S.; CHARAN, P. Healthcare operations management: a structured literature review. **Decision**, v. 43, n. 3, p. 259-279, 2016.
- KAMMOUN, A.; HACHICHA, W.; ALJUAID, A. M. Integrating quality tools and methods to analyze and improve a hospital sterilization process. In: **Healthcare**. MDPI, 2021. p. 544.
- KROHN, M. et al. Analysis of processes and costs of alternative packaging options of sterile goods in hospitals—a case study in two German hospitals. **Health Economics Review**, v. 9, p. 1-17, 2019.
- LEGA, F. Strategies for multi-hospital networks: a framework. **Health Services Management Research**, v. 18, n. 2, p. 86-99, 2005.
- LEITE, F. B. Central de material esterilizado: projeto de reestruturação e ampliação do hospital regional de Francisco Sá. **Centro Universitário Euroamericano—UNIEURO**, 2008.
- LEITE, P. C.; SILVA, A. Morbidade referida em trabalhadores de enfermagem de um centro de material e esterilização. **Ciência, Cuidado E Saúde**, v. 6, n. 1, p. 95-95, 2008.
- MAYS, N.; ROBERTS, E.; POPAY, J. Synthesising research evidence. In **Studying the organisation and delivery of health services: Research methods**. London: Routledge, 2001.
- MCLAUGHLIN, D.B.; HAYS, J.M. **Healthcare operations management**. USA: Aupha, 2008.
- MIGUEL, P. A. C. Estudo de caso na engenharia de produção: estruturação e recomendações para sua condução. **Production**, v. 17, n. 1, p. 216–229, 2007.
- NEUENDORF, K. A. Defining content analysis. **Content analysis guidebook**. Thousand Oaks, CA: Sage, 1-35, 2002.
- OECD. Health at a Glance 2021 OECD Indicators. OECD, 2021. Disponível em: <<https://www.oecd.org/health/covid-19-pandemic-underlines-need-to-strengthen-resilience-of-health-systems-says-oecd.htm>> Acesso em: 20 mar 2023.
- OZTURK, O. et al. Optimizing the makespan of washing operations of medical devices in hospital sterilization services. In: **2010 IEEE Workshop on Health Care Management (WHCM)**. IEEE, p. 1-6, 2010.
- PUCCHINI, L. R. S. et al. Comparativo entre as bases de dados PubMed, SciELO e Google Acadêmico com o foco na temática Educação Médica. **Cadernos UniFOA**, v. 10, n. 28, p. 75-82, 2015.

- RABIN'KIĬ, B. I. Mechanization of the work of the personnel of the sterilization service of therapeutic-preventive institutions. **Meditssinskaia tekhnika**, n. 5, p. 37-39, 1978.
- REID, R.D.; SANDERS, N.R. **Operations Management: An Integrated Approach**. 4. ed. USA: John Wiley & Sons, Inc, 2011.
- REYMONDON, F; PELLET, B.; MARCON, E. Optimization of hospital sterilization costs proposing new grouping choices of medical devices into packages. **International Journal of Production Economics**, v. 112, n. 1, p. 326-335, 2008.
- RUPNIK, B.; NARDIN, R.; KRAMBERGER, T. Discrete event simulation of hospital sterilization logistics. **Tehnički vjesnik**, v. 26, n. 5, p. 1486-1491, 2019.
- RÜTHER, S. et al. An assistance system for guiding workers in central sterilization supply departments. In: **Proceedings of the 6th International Conference on Pervasive Technologies Related to Assistive Environments**, p. 1-8, 2013.
- SADEGHI, A. H. et al. A Mixed-Integer Linear Formulation for a Dynamic Modified Stochastic p-Median Problem in a Competitive Supply Chain Network Design. **Logistics**, v. 7, n. 1, p. 14, 2023.
- SAIDI, O. et al. Optimizing transportation for a centralized sterilization service in a multi-hospital network. In: **2021 IEEE International Conference on Technology Management, Operations and Decisions (ICTMOD)**. IEEE, 2021. p. 1-8, 2021.
- SAIF, A.; ELHEDHLI, S. Sterilization network design. **EURO Journal on Transportation and Logistics**, v. 8, p. 91-115, 2019.
- SANTOS, G. A. A. C. dos; BOCCHI, S. C. M. Cancelamento de cirurgias eletivas em hospital público brasileiro: motivos e redução estimada. **Revista Brasileira de Enfermagem**, v. 70, p. 535-542, 2017.
- SILVA, E; MENEZES, E. 2001. **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação**. 3. Ed. Florianópolis: Laboratório de Ensino a Distância da UFSC.
- SILVA, R. R. S. M. da. **Custos relacionados ao Centro de Esterilização: revisão integrativa**. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso - Curso de Enfermagem - Universidade Federal do Alagoas, Alagoas, 2021.
- SINGH, V. K. et al. The journal coverage of Web of Science, Scopus and Dimensions: A comparative analysis. **Scientometrics**, v. 126, p. 5113-5142, 2021.
- SONG J.; ZHENG H. Effect of PDCA circulation method on quality of reusable instrument centralized sterilization. **World Chinese Journal of Digestology**, 2016.
- TILLVITZ, L. R et al. Quality evaluation of a central supply unit at a university hospital. **Revista de Enfermagem UFPE online**, v. 6, n. 9, p. 2077-2085, 2012.
- THOMÉ, A. M. T.; SCAVARDA, L. F.; SCAVARDA, A. J. Conducting systematic literature review in operations management. **Production Planning & Control**, v. 27, n. 5, p. 408-420, 2016.
- TLAHIG, H. et al. Centralized versus distributed sterilization service: A location-allocation decision model. **Operations Research for Health Care**, v. 2, n. 4, p. 75-85, 2013.
- TLAHIG, H.; JEBALI, A.; BOUCHRIHA, H. A two-phased approach for the centralisation versus decentralisation of the hospital sterilisation service department. **European Journal of Industrial Engineering**, v. 3, n. 2, p. 227-246, 2009.
- VÄHÄTALO, M.; KALLIO, T. J. Organising health services through modularity. **International Journal of Operations and Production Management**, v. 35, n. 6, p. 925-945, 2015.
- VAN DE KLUNDERT, J.; MULS, P.; SCHADD, M. Optimizing sterilization logistics in hospitals. **Health care management science**, v. 11, p. 23-33, 2008.
- VANBERKEL, P. T. et al. Efficiency evaluation for pooling resources in health care. **OR spectrum**, v. 34, p. 371-390, 2012.

VEIGA-MALTA, I. Preventing healthcare-associated infections by monitoring the cleanliness of medical devices and other critical points in a sterilization service. **Biomedical Instrumentation & Technology**, v. 50, n. s3, p. 45-52, 2016.

VISSERS, J.; BEECH, R. **Health operations management: paciente flow logistics in health care**. New York: Routledge, 2005.

WEBER, R. P. **Basic Content Analysis**. Quantitative Applications in the Social Sciences (2a ed.). London: Sage Publications Ltd, 1990.

WEISS, H. J.; GERSHON, M. E. **Production and operations management**. Allyn & Bacon, 1989.

WESTBROOK, R. Action research: a new paradigm for research in production and operations management. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 14, n. 12, p. 6-10, 1995.

## Apêndice 1 – Protocolo semiestruturado das entrevistas

PONTOS LEVANTADOS		H1	H2	H4	
<b>Perfil / Porte da CME</b>	<b>Efetivo / Perfil do RH</b>	Qual é o efetivo de funcionários (quantidade e perfil dos funcionários)?	2 técnicos na limpeza (12/36); 2 técnicos no preparo (12/36); 1 técnico área semicrítico (exclusivo ventilatório) (12/36); 1 técnico (12/36) + 1 administrativo no arsenal 2 administrativos diaristas; 1 enfermeira líder diarista; 1 técnico diarista; 1 tardista (6/1).	Não respondido	Dia: 2 plantonistas; 1 diarista (técnica de enfermagem); 1 diarista (técnica de enfermagem dedicada a endoscopia); Noite: 3 técnicas de enfermagem;
		Qual é o regime de trabalho (turnos / escalas)?	Rotina e 12/36	Rotina e 12/36	Rotina e 12/36
		Há treinamento de funcionários? Qual periodicidade? Quais os tipos de treinamentos?	Treinamento anual na RDC 15;	7 treinamentos mensais na RDC 15, alternando os temas;	Não respondido
	<b>Produção</b>	Qual a produção média diária e mensal? (Volume de itens processados)	A Sterrad fazia 100 ciclos/mês antes da pandemia. Depois da pandemia, chegou a fazer 600 ciclos/mês. Hoje faz cerca de 250 ciclos/mês. Autoclaves 800 ciclos/mês.	17 - 18 mil itens/mês;	5800 itens/mês

PONTOS LEVANTADOS			H1	H2	H4
		Quais são os tipos de itens recebidos e horário de recebimento? (Item, quantidade e horário de recebimento)	Manhã: 10h-12h Tarde: 15h-17h Noite: 22h-02h  Material médico: 12h de antecedência; Material consignado: 6h de antecedência.	Manhã: 10h-12h Tarde: 15h-17h Noite: 22h-02h  Material médico: 12h de antecedência; Material consignado: 6h de antecedência.	Manhã: 10h-12h Tarde: 15h-17h Noite: 22h-02h  Material médico: 12h de antecedência; Material consignado: 6h de antecedência.
		Há registro da produção? Como é realizado (digitalmente ou manualmente)?	Registro dos ciclos em livro (preenchimento manual); A compilação é feita mensalmente (na última semana do mês) - planilha de produtividade;	Material médico e consignado: manualmente; Demais materiais por meio do sistema.	Registro dos ciclos em livro (preenchimento manual); A compilação é feita mensalmente (na última semana do mês) - planilha de produtividade;
	<b>Tipos de itens</b>	Que classe de itens é mais processada? (estratificar agregado) (Crítico, não crítico, semicrítico)	Os itens são classificados em críticos, semicríticos, e não críticos. Os itens são classificados em porte (P - caixa de até 10 itens / M - caixa de até 50 itens / G - caixas de mais de 50 itens);	Não respondido	Os itens são classificados em críticos, semicríticos, e não críticos. Os itens são classificados em porte (P - caixa de até 10 itens / M - caixa de até 50 itens / G - caixas de mais de 50 itens);
		Quais as formas de organização dos kits (embalagem)?	Grau cirúrgico; Bandeja; Container (ao menos 5 tamanhos distintos);	Container (maior volume), bandeja, avulsos.	Grau cirúrgico; Bandeja; Container (ao menos 5 tamanhos distintos);
	<b>Terceirização</b>	Como é feito o transporte de material esterilizado para outras unidades?	2 motoristas dia + 1 motorista noite	Motorista terceirizado com horários específicos de recebimento;	Motorista terceirizado com horários específicos de recebimento;

PONTOS LEVANTADOS			H1	H2	H4
<b>Instalações</b>	<b>Espaço físico</b>	O espaço físico atual é adequado e suficiente para operação do CME?	Não. Fluxo não é contínuo, layout não é apropriado. Problemas importantes de infraestrutura. Ar-condicionado danificado, poças na entrada do CME (acesso funcionário), espaço interno sem circulação adequada.	Sim	O Fluxo não é linear, mas há barreiras físicas e o fluxo é contínuo;
	<b>Layout</b>	Como é o layout do CME? (Organização das máquinas e equipamentos, características gerais de limpeza, deficiências técnicas etc.)	Há separação entre área limpa e contaminada. As autoclaves são de barreira e há barreira entre as áreas. Vestiário único (não há vestiário para área limpa e área contaminada); Espaço para armazenamento adequado. Separação do arsenal por setores, com identificação.	Há separação entre área limpa e contaminada. As autoclaves são de barreira e há barreira entre as áreas; Vestiário único (não há vestiário para área limpa e área contaminada); Espaço para armazenamento adequado. Separação do arsenal com identificação.	Há separação entre área limpa e contaminada. As autoclaves são de barreira e há barreira entre as áreas. Vestiário único (não há vestiário para área limpa e área contaminada); Espaço para armazenamento adequado. Separação do arsenal por setores, com identificação.
	<b>Fluxo</b>	Como são as entradas e saídas dos materiais no CME, há separação dos ambientes?	Há separação de ambientes de entrada e saída de material; As entradas de material consignado e material de médico são registradas em livro (3 vias com papel carbono). Além disso, os materiais são fotografados na entrada; Estes e os demais são registrados em planilha Excel.	Entrada, processo e saída de material registrados no sistema (Material próprio - Qrcode por item, Material médico - Qrcode por caixa);	Há separação de ambientes de entrada e saída de material; As entradas de material consignado e material de médico são registradas em livro (3 vias com papel carbono). Além disso, os materiais são fotografados na entrada; Estes e os demais são registrados em planilha Excel.

PONTOS LEVANTADOS			H1	H2	H4
		<p>Como é o fluxo dos materiais dentro do CME?</p> <p>Cruzamentos/ unidirecional Fluxo de pessoas Ligação com Centro Cirúrgico/ UTI/ Enfermaria área de limpeza</p>	<p>Não há cruzamento de fluxo limpo e contaminado, mas o layout não é adequado para um fluxo linear. As áreas não são contínuas, o que dificulta a circulação e alocação de mobiliário.</p>	<p>Não há cruzamento de fluxo de material, o layout permite fluxo linear e unidirecional; As pessoas são dedicadas a uma área única, no entanto, há porta de conexão entre as áreas; A CME fica no mesmo andar do CC, a equipe de enfermagem do CC vem buscar o material;</p>	<p>Não há cruzamento de fluxo limpo e contaminado, mas o layout não é adequado para um fluxo linear. As áreas não são contínuas, o que dificulta a circulação e alocação de mobiliário.</p>
	<b>Arsenal</b>	<p>Como é realizado o armazenamento dos materiais para esterilização e depois de esterilizados? Há espaço suficiente?</p>	<p>O arsenal é organizado todo na CME; O espaço é organizado por setor de saída. Há prateleiras identificadas e corredores amplos para acesso aos materiais; As caixas e containers são identificados por especialidade e são colocados rótulos (folha A4) que identificam os itens da caixa (que acompanham a caixa desde o preparo); Os containers recebem um lacre com numeração (a numeração não é utilizada);</p>	<p>O arsenal é organizado no CME e há arsenais satélites por andar; O espaço é organizado por setor de saída. Há prateleiras identificadas e corredores amplos para acesso aos materiais; As caixas e containers são identificados por especialidade/médico e são identificados pelo Qrcode do sistema desde o início do processo;</p>	<p>Por restrição de espaço, parte do arsenal fica no CME, parte nos setores (estoques satélites);</p>
<b>Processos</b>	<b>Atividades básicas</b>	<p>Quais são as etapas do processo?</p>	<p>Expurgo: Limpeza, desinfecção química (quando necessário); Preparo: preparo Área de esterilização: esterilização; Arsenal: armazenagem, distribuição;</p>	<p>Expurgo: Limpeza, desinfecção química (quando necessário); Preparo: preparo Área de esterilização: esterilização; Arsenal: armazenagem, distribuição;</p>	<p>Expurgo: Limpeza, desinfecção química (quando necessário); Preparo: preparo Área de esterilização: esterilização; Arsenal: armazenagem, distribuição;</p>

PONTOS LEVANTADOS		H1	H2	H4
	As etapas de lavagem e preparo são realizadas no CME ou descentralizadas nas unidades?	O CC (a circulante de sala) faz uma pré-limpeza; Endoscopia e colonoscopia - desinfecção química feita no próprio CC; As demais etapas são realizadas no CME.	Realizadas no CME;	Os endoscópios são higienizados em uma sala ao lado do CC;
	<b>Programação</b> Como é feita a programação diária do que vai ser esterilizado?	A CME recebe o mapa cirúrgico às 7h da manhã do dia anterior à realização das cirurgias (cerca de 60 cirurgias /mapa);	A CME recebe o mapa cirúrgico às 11h da manhã do dia anterior à realização das cirurgias; Às 15h participam do bate mapa e fazem a primeira verificação da disponibilidade dos itens; Priorizam a esterilização dos itens que não estejam prontos e estejam na unidade; Solicitam empréstimo caso não tenham o item na unidade.	Bate Mapa 11h;
	<b>Sistemas de informação</b> Há sistemas de informação e workflow dentro do CME?	A entrada de itens consignados e material médico é lançada em livro com 3 vias em papel carbono assinadas (1 via para quem entregou o material, 1 via fica no livro e 1 via anda com o material ao longo do processo); A entrada de todos os itens é lançada em planilha Excel na porta de entrada; O processamento dos materiais em autoclave é registrado no livro de 'Controle de carga e descarga dos autoclaves', junto à comprovação gerada pela máquina; A saída dos itens consignados e material médico é lançada em livro com assinatura do profissional que	Registrado fluxo do processo no sistema	A entrada de itens consignados e material médico é lançada em livro com 3 vias em papel carbono assinadas (1 via para quem entregou o material, 1 via fica no livro e 1 via anda com o material ao longo do processo); A entrada de todos os itens é lançada em planilha Excel na porta de entrada; O processamento dos materiais em autoclave é registrado no livro de 'Controle de carga e descarga das autoclaves', junto à comprovação gerada pela máquina; A saída dos itens consignados e material médico é lançada em livro com assinatura do profissional que

PONTOS LEVANTADOS			H1	H2	H4
			recebeu e em planilha Excel na porta de saída.		recebeu e em planilha Excel na porta de saída.
		Quais os setores relacionados que enxergam a produção do CME?	Nenhum	Nenhum	Nenhum
		O sistema apoia decisão de ordem de produção?	Não	Sim	Não
		O sistema apoia rastreamento dos itens?	Não	Sim	Não
	<b>Armazenagem</b>	A vida útil dos materiais é avaliada e controlada? Como?	Validade é checada todos os dias para os materiais de alto custo; 7 dias para vencer, o item é retirado do arsenal e volta para o processo de esterilização.	A vida útil e validade da esterilização é verificada semanalmente;	A validade do arsenal satélite (nos setores) é verificada mensalmente; A vida útil e validade da esterilização é verificada semanalmente; As caixas e itens que vencem em até 30 dias são marcados com etiqueta amarela; As caixas e itens que vencem em até 15 dias são marcados com etiqueta vermelha.
		Há estoque de segurança dos itens esterilizados?	Sim, há um estoque para reposição dos itens mais comuns;	Sim, há um estoque para reposição dos itens mais comuns;	Sim, há um estoque para reposição dos itens mais comuns;

PONTOS LEVANTADOS		H1	H2	H4	
Equipamentos e insumos	Equipamentos	Quais equipamentos estão disponíveis para esterilização?	<p>Expurgo: 6 pias 3 Ar comprimido (autosteam) 3 ultrassônicas Bomba d'água Pia com filtro ultravioleta</p> <p>Área de limpeza: 3 termodesinfectoras 1 Sterrad de 100L 2 Sterrad de 25L (ciclo de 28 min) 1 Sterrad de 100L obsoleta (sem uso, em frente as autoclaves) 2 autoclaves de 775L (ciclo de 80/90 min material leve   120/125 min material pesado + tempo de secagem);</p>	<p>Expurgo: 2 pias 4 Ultrassônicas</p> <p>Preparo: 2 Equipamentos de Esterilização por vapor saturado (Autoclave) - 500 L; 1 Equipamentos de Esterilização a baixa temperatura por peróxido de hidrogênio (Sterrad); 2 secadoras.</p>	<p>Expurgo: 1 pia 1 ultrassônica 1 ultrassônica para robô 1 autosteam com capela</p> <p>Desinfecção: 1 Termodesinfectora</p> <p>Preparo: 2 seladoras</p> <p>Esterilização: 1 Sterrad 2 Autoclaves 530L</p>
		Que tipo de produto é esterilizado em cada equipamento?	Para a Sterrad, há uma indicação do fornecedor (produto termossensível); Lúmen < 5 mm não pode ir na Sterrad;	Para a Sterrad, há uma indicação do fornecedor (produto termossensível); Lúmen < 5 mm não pode ir na Sterrad;	Para a Sterrad, há uma indicação do fornecedor (produto termossensível); Lúmen < 5 mm não pode ir na Sterrad;
		Qual a periodicidade de qualificação dos equipamentos?	Todo dia 00h;	Todo dia 00h;	Todo dia 00h;

PONTOS LEVANTADOS			H1	H2	H4
	<b>Insumos</b>	Quais os insumos utilizados na operação do CME (por processo ou por equipamento)?	<p>Destaque para um insumo de desinfecção química: Identificou-se uma solução que dura 40 dias (galão de 5L) - 5 minutos de exposição.</p> <p>Atualmente utiliza-se uma solução que dura 14 dias (2 galões de 3L) - 10 minutos de exposição &gt;&gt; Maior custo.</p> <p>Pedem ressurgimento de insumos segundas, quartas e sextas.</p>	<p>1. Expurgo: Detergente enzimático</p> <p>2. Preparo: Envelope grau cirúrgico, Tyvek, embalagem sms, fita zebreada. Autoclaves: Integrador químico, liberador de carga, pacote desafio. Sterrad: Integrador químico, cassete.</p> <p>3. Arsenal: Cover-bag</p>	<p>1. Expurgo: Detergente enzimático</p> <p>2. Preparo: Envelope grau cirúrgico, Tyvek, embalagem sms, fita zebreada. Autoclaves: Integrador químico, liberador de carga, pacote desafio. Sterrad: Integrador químico, cassete.</p> <p>3. Arsenal: Cover-bag</p>
<b>Qualidade e segurança</b>	<b>Rastreabilidade</b>	Há perda de material? Há rastreio com vistas à identificação de infecção realizado?	O centro cirúrgico associa caixa e paciente colando a etiqueta da caixa no prontuário físico do paciente; Em 2021 começaram a etiquetar os implantáveis;	As perdas e danos não são frequentes. Rastreabilidade dos materiais realizada pelo sistema	Não respondido
	<b>Testes e Controles de Qualidade</b>	Quais são os testes realizados? Com que frequência?	<p>Teste de vácuo;</p> <p>Teste Bowie Dick - diário às 00h; Pacote desafio (indicador biológico + integrador químico) autoclave com carga - diário às 00h; Integrador químico - por item / por ciclo;</p> <p>Liberador de carga - por ciclo; Sterrad (2 ampolas por ciclo - 1 cassete para cada 5 ciclos).</p>	<p>Teste de vácuo;</p> <p>Teste Bowie Dick - diário às 00h; Pacote desafio (indicador biológico + integrador químico) autoclave com carga - diário às 00h; Integrador químico - por item / por ciclo;</p> <p>Liberador de carga - por ciclo; Sterrad (2 ampolas por ciclo - 1 cassete para cada 5 ciclos).</p>	<p>Teste de vácuo;</p> <p>Teste Bowie Dick - diário às 00h; Pacote desafio (indicador biológico + integrador químico) autoclave com carga - diário às 00h; Integrador químico - por item / por ciclo;</p> <p>Liberador de carga - por ciclo; Sterrad (2 ampolas por ciclo - 1 cassete para cada 5 ciclos).</p>

## Apêndice 2 - Modelo para centralização da operação de CME

Objetivo: Minimizar o custo total de longo prazo de rede de esterilização. O custo total inclui o custo fixo de configuração das CMEs, custo de transporte entre as CMEs e os hospitais, e o custo anual de equipamentos e pessoal.

$$\begin{aligned} \text{Min} \\ \sum_{j \in J} A_j x_j + \sum_{j \in J} U_j x_j + \sum_{j \in J} M_j x_j + \sum_{j \in J} \sum_{p \in P} H_p z_{jp} + \sum_{j \in J} \sum_{i \in I} L_{ij} y_{ij} + 365 \sum_{j \in J} \sum_{r \in R} G_r s_{jr} \\ + 365 \sum_{j \in J} \sum_{r \in R} m_{jr} K_r + \sum_{j \in J} \sum_{i \in I} D_r s_{jr} + \sum_{j \in J} \sum_{f \in F} E_{fj} n_{jf} \end{aligned}$$

*custo de aluguel + custo de oportunidade + custo de manutenção de equip  
+ custo de manutenção de material + custo de transporte  
+ custo de funcionamento de equip + custo de ciclo  
+ custo de depreciação de equip + custo de pessoal*

Sujeito a

$$\sum_{j \in J} y_{ij} = 1, \quad \forall i \in I \quad (1)$$

$$x_j \geq y_{ij}, \quad \forall i \in I, j \in J \quad (2)$$

$$z_{jp} \geq \sum_{i \in I} \mu_{ip} y_{ij}, \quad \forall j \in J, p \in P \quad (3)$$

$$\sum_{p \in P} Q_{pr} z_{jp} W_{jr} \leq m_{jr}, \quad \forall j \in J, r \in R \quad (4)$$

$$m_{jr} \leq C_r s_{jr}, \quad \forall j \in J, r \in R \quad (5)$$

$$\sum_{p \in P} t_{pf} z_{jp} \leq 473 n_{jf}, \quad \forall j \in J, f \in F \quad (6)$$

$$s_{jr} \leq S_{jr}, \quad \forall j \in J, r \in R \quad (7)$$

$$n_{jr} \leq N_{jr}, \quad \forall j \in J, n \in N \quad (8)$$

## Descrição do modelo

### Conjuntos

$i$	Hospitais	4 (H1, H2, H3, H4)
$j$	Potenciais CME's	3 (H1, H2, H4)
$p$	Tipos de materiais	5 (Bandeja de cateterismo, Bandeja de punção venosa, caixa de pequena cirurgia, caixa básica, caixa de vídeo geral)
$r$	Tipo de equipamentos	5 (Termo, Autoclave 566L, Autoclave 704L, Autoclave 878L, estantes)
$f$	Funcionários	1 (considerando apenas a área de preparo)

### Variáveis:

$x_j$	É uma variável binária que assume valor 1 se uma CME for aberta na localização “ $j$ ”;
$y_{ij}$	É uma variável binária que assume valor 1 se o hospital “ $i$ ” for atribuído a CME “ $j$ ”;
$z_{jp}$	É quantidade de materiais do tipo “ $p$ ” mantidos em estoque na CME “ $j$ ”
$s_{jr}$	É a quantidade de equipamentos “ $r$ ” disponíveis na CME “ $j$ ”
$n_{jf}$	É a quantidade de funcionários “ $f$ ” disponíveis na CME “ $j$ ”
$m_{jr}$	É a quantidade de ciclos por dia realizados pelos equipamentos

### Parâmetros:

$A_j$	É o custo de aluguel;
$U_j$	É o custo de oportunidade;
$M_j$	Custo de manutenção de equipamentos;
$H_p$	É o custo de manutenção (integrador químico e insumos) do material “ $p$ ”;
$L_{ij}$	É o custo de transporte entre o hospital “ $i$ ” e a CME “ $j$ ”;
$G_r$	É o custo para colocar um equipamento “ $r$ ” para funcionar;
$K_r$	É o custo de um ciclo do equipamento “ $r$ ”;
$D_{jr}$	Custo de depreciação de equipamentos;
$E_{fj}$	É o custo de <i>headcount</i> na CME “ $j$ ”;
$W_{jr}$	Assume valor 1 se o equipamento “ $r$ ” está disponível na CME “ $j$ ”;
$S_{jr}$	É a quantidade máxima de equipamentos “ $r$ ” que cabe na CME “ $j$ ”;
$Q_{pr}$	É a quantidade necessária de equipamentos “ $r$ ” para processar um único material “ $p$ ”;
$C_{jr}$	É a quantidade de ciclos que um equipamento “ $r$ ” pode realizar em um dia;
$N_{jf}$	É a quantidade máxima possível de funcionários “ $f$ ” que cabem na CME “ $j$ ”;
$t_{pf}$	É o tempo necessário para o funcionário “ $f$ ” preparar um único material “ $p$ ”;
$\mu_{ip}$	É a demanda do hospital “ $i$ ” pelo produto “ $p$ ”;

### Restrições:

- (1) Atribui cada hospital a, exatamente, uma única CME;
- (2) Garante que nenhum um hospital seja atribuído a uma CME fechada;
- (3) O estoque em cada CME deve ser suficiente para atender a demanda dos hospitais a ela atribuída;  
A quantidade de cada equipamento em cada CME deve ser suficiente para atender toda a sua respectiva demanda da CME;
- (4) e (5) A quantidade de funcionários em cada CME deve ser suficiente para atender toda a sua respectiva demanda;
- (6) A quantidade máxima de equipamento necessários para atender a demanda de cada CME não deve ultrapassar a quantidade máxima de equipamentos que cabem na respectiva CME;
- (7) A quantidade máxima de funcionários necessários para atender a demanda de cada CME não deve ultrapassar a quantidade máxima de equipamentos que cabem na respectiva CME;
- (8) A quantidade máxima de funcionários necessários para atender a demanda de cada CME não deve ultrapassar a quantidade máxima de equipamentos que cabem na respectiva CME;

Dados do problema

Custo de Aluguel -  $A_j$

$$A_j = \begin{bmatrix} 2022000 \\ 1518000 \\ 970000 \end{bmatrix}$$

	ÁREAS DAS CMEs	ÁREAS DAS UNIDADES	RATEIO	Valor arredondado
H1	223,66	21312	- 2.021.162	- 2.022.000
H2	230,47	19298,14	- 1.517.565	- 1.518.000
H4	207	15731,32	- 969.370	- 970.000

Custo de oportunidade -  $U_j$

$$U_j = \begin{bmatrix} 280000000 \\ 200000000 \\ 150000000 \end{bmatrix}$$

	Áreas das CMEs	Quant. De salas cirúrgicas	Ticket médio	Custo de oportunidade	Valor arredondado
H1	223,66	5	410	R\$ 27.340.973,07	R\$ 28.000.000,00
H2	230,47	6	330	R\$ 19.688.314,59	R\$ 20.000.000,00
H4	207	5	275	R\$ 14.260.888,20	R\$ 15.000.000,00

Custo de manutenção de equipamentos -  $M_j$

$$M_j = \begin{bmatrix} 5200000 \\ 6600000 \\ 2400000 \end{bmatrix}$$

	Valor total	Valor arredondado
H1	R\$ 5.134.114,88	R\$ 5.200.000,00
H2	R\$ 6.550.400,02	R\$ 6.600.000,00
H4	R\$ 2.392.618,45	R\$ 2.400.000,00

Custo de depreciação de equipamentos -  $D_r$

$$D_r = [29000 \quad 36000 \quad 41000 \quad 46000]$$

	Equipamentos	Valor de compra	Dividido em 10 anos	Valor arredondado
H1	Termo	R\$ 281.603,18	R\$ 28.160,32	R\$ 29.000,00
H2	Termo	R\$ 281.603,18	R\$ 28.160,32	R\$ 29.000,00
H4	Termo	R\$ 281.603,18	R\$ 28.160,32	R\$ 29.000,00
H1	Autoclave 878 L (modelo 6420)	R\$ 458.216,93	R\$ 45.821,69	R\$ 46.000,00
H2	Autoclave 704 L (modelo 6415)	R\$ 408.523,45	R\$ 40.852,35	R\$ 41.000,00
H4	Autoclave 566 L (modelo 6412)	R\$ 358.829,98	R\$ 35.883,00	R\$ 36.000,00

Custo de transporte -  $L_{ij}$

$$L_{ij} = \begin{bmatrix} 0 & 78 & 2511 \\ 78 & 0 & 2386 \\ 2511 & 2386 & 0 \\ 596 & 691 & 2417 \end{bmatrix}$$

	H1	H2	H4
H1	0	78	2511
H2	78	0	2386
H4	2511	2386	0
H3	596	691	2417

Custo de manutenção (integrador químico e insumos) do material "p" -  $H_p$

$$H_p = \begin{bmatrix} 2,67 \\ 2,67 \\ 2,58 \\ 2,58 \\ 2,58 \end{bmatrix}$$

	Tipo	Gasto por unidade de p	Custo
Embalagem/insumos	Bandeja	SMS (2x)	R\$ 2,11
	Contêiner	Lacre e Filtro	R\$ 2,01
Integrador químico		Em todo ciclo, em cada caixa	R\$ 0,56

Custo para colocar um equipamento "r" para funcionar -  $G_r$

$$G_r = [37 \quad 95 \quad 95 \quad 95]$$

	Testes	Valor de cada teste	Valor total e arredondado
Termo	Teste ATP	36,83	R\$ 37
	Verify	0,05	
Autoclave	Pacote Teste Bowie-Dick	39,25	R\$ 95
	Pacote teste desafio (indicador biológico)	54,96	

Custo de *headcount* na CME "j" -  $E_{fj}$

$$E_{fj} = [50000 \quad 66000 \quad 58000]$$

		Quant <i>Headcount</i>	Anual	Mensal	Valor arredondado
H1	(1.484.055,11)	30	-49468,5	-4122,38	- 50.000,00
H2	(1.835.657,38)	28	-65559,2	-5463,27	- 66.000,00
H4	(694.770,92)	12	-57897,6	-4824,8	- 58.000,00

Custo de um ciclo do equipamento "r" -  $K_r$

$$K_r = [10 \quad 10 \quad 12 \quad 12 \quad 0]$$

	Tamanho da termodesinfetadora	Gasto por ciclo	Custo
Água	360L (Cisa)	135L	R\$ 0,97
Luz	360L (Cisa)	8kw/h	R\$ 6,03
Detergente enzimático (1 fase)	30L	2ml por 1L de água	R\$ 2,78

	Tamanho da autoclave	Gasto por ciclo	Custo
Água	700/800L	60L	R\$ 0,43
	500L	45L	R\$ 0,32
Luz	700/800L	15kw/h	R\$ 11,31
	500L	12kw/h	R\$ 9,05

Assume valor 1 se o equipamento “*r*” está disponível na CME “*j*” -  $W_{jr}$

$$W_{jr} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

	Termos	Autoclave (1 ciclo) 566 L	Autoclave 704 L	Autoclave 878 L
H1	1	0	0	1
H2	1	0	1	0
H4	1	1	0	0

Quantidade máxima de equipamentos “*r*” que cabe na CME “*j*” -  $S_{jr}$

$$S_{jr} = \begin{bmatrix} 3 & 0 & 0 & 2 & 44 \\ 2 & 0 & 3 & 0 & 63 \\ 2 & 2 & 0 & 0 & 98 \end{bmatrix}$$

	Quantidade Máxima			
	Termos	Autoclave (1 ciclo) 566 L	Autoclave 704 L	Autoclave 878 L
H1	3	0	0	2
H2	2	0	3	0
H4	2	2	0	0

Observação: Foi considerado um redutor de capacidade de aproximadamente 66% para as capacidades do arsenal (nas prateleiras).

	Quant. de estantes	Quant. de prateleiras	Redutor de capacidade	Total de prateleiras
H1	17 (4 prateleiras)	68	0,66	44
H2	27 (4 prateleiras)	96	0,66	63
H4	25 (6 prateleiras)	150	0,66	98

Quantidade necessária de equipamentos “*r*” para processar um único material “*p*” -  $Q_{pr}$

$$Q_{pr} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ \frac{150}{1} & \frac{56}{1} & \frac{84}{1} & \frac{112}{1} & \frac{24}{1} \\ \frac{150}{30} & \frac{56}{16} & \frac{84}{24} & \frac{112}{32} & \frac{24}{12} \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ \frac{15}{10} & \frac{10}{12} & \frac{12}{20} & \frac{20}{6} & \frac{6}{1} \\ \frac{1}{10} & \frac{1}{8} & \frac{1}{12} & \frac{1}{16} & \frac{1}{3} \end{bmatrix}$$

	Termo (1 ciclo)	Autoclave (1 ciclo) 566 L	Autoclave (1 ciclo) 704 L	Autoclave (1 ciclo) 878 L
Bandeja de cateterismo	150	56	84	112
Bandeja punção	150	56	84	112
Caixa pequena cirurgia	30	16	24	32
Caixa básica	15	10	12	20
Caixa vídeo geral	10	8	12	16

Quantidade de ciclos que um equipamento “*r*” pode realizar em um dia

$$C_{jr} = \begin{bmatrix} 10 & 6 & 6 & 6 & 1 \\ 10 & 6 & 6 & 6 & 1 \\ 10 & 6 & 6 & 6 & 1 \end{bmatrix}$$

	Termo	Autoclave 566L	Autoclave 704L	Autoclave 878L	Estantes
Quant de ciclos por dia	16	10	10	10	1
Após uso do redutor de capacidade	10	6	6	6	1

Observação: Foi considerado um redutor de capacidade de aproximadamente 66% para as capacidades dos equipamentos (nos ciclos).

Quantidade máxima possível de funcionários “ $f$ ” que cabem na CME “ $j$ ”

$$N_{jf} = \begin{bmatrix} 8 \\ 8 \\ 8 \end{bmatrix}$$

	Quantidade Máxima de Pessoas no Preparo por turno	Em dois turnos (24h)
H1	4	8
H2	4	8
H4	4	8

Tempo necessário para o funcionário “ $f$ ” preparar um único material “ $p$ ”

$$t_{pf} = [6 \quad 6 \quad 12 \quad 16 \quad 27]$$

RH - Preparo	Tempo para preparar uma caixa (em min)
Bandeja cateterismo vesical:	6
Bandeja punção profunda:	6
Caixa pequena cirurgia:	12
Caixa básica:	16
Caixa vídeo geral:	27

Demanda do hospital “ $i$ ” pelo produto “ $p$ ”

$$\mu_{ip} = \begin{bmatrix} 58 & 61 & 22 & 20 & 16 \\ 10 & 4 & 3 & 15 & 7 \\ 25 & 24 & 6 & 14 & 7 \\ 16 & 16 & 1 & 14 & 1 \end{bmatrix}$$

H1	58	61	22	20	16	0	0
H2	10	4	3	15	7	0	0
H4	25	24	6	14	7	0	0
H3	16	16	1	14	1	0	0

**Restrição número 6:**

$$\sum_{p \in P} t_{pf} z_{jp} \leq 473 n_{jf}, \quad \forall j \in J, f \in F \quad (6)$$

A quantidade de funcionários em cada CME deve ser suficiente para atender toda a sua respectiva demanda;

Observação: Foi considerado um redutor de capacidade de aproximadamente 66% para as capacidades dos funcionários (na jornada de trabalho). Sem o redutor seria 720 minutos = 12 \*60.

Premissas:

- Os locais potenciais CME são conhecidos (hospitais existentes).
- Todos os locais potenciais CME são considerados para ser o CME centralizado
- É considerado que pode haver mais de um CME para a rede estudada, porém um hospital não pode ser atendido por duas CMEs diferentes.
- É considerado que o hospital onde terá o CME centralizado também centralizará o estoque.
- Foi considerado que se a decisão de mudança para um CME for tomada em um determinado período, ela permanecerá a mesma para o próximo horizonte de planejamento (um ano), pois os cálculos do modelo são considerados para o contexto de um ano.
- Os custos de transição incorridos para mudar do status quo para a nova configuração são insignificantes em comparação com os custos de estado estacionário, então eles são desconsiderados.
- Os custos relacionados ao armazenamento de DMRs próximo às salas de operação e suas movimentações dentro dos hospitais não foram incluídos, pois esses custos serão incorridos independentemente da configuração da rede.
- A decisão sobre a localização do serviço de esterilização envolve todos os hospitais da rede de esterilização: todos os hospitais considerados têm que tomar a mesma decisão ao escolher entre organização centralizada e distribuída.
- Os custos de transporte são tratados como custos variáveis e dependem da distância entre o hospital e o local do CME, considerando-se R\$5,70 como custo de 1 litro de gasolina.

- Considera-se que os veículos para transporte de materiais já estão disponíveis e pertencem ao hospital, logo não há custo de aquisição nem de aluguel.
- O serviço de esterilização requer um conjunto de recursos humanos e equipamentos (técnicos de enfermagem, autoclaves, etc.). Cada recurso tem uma determinada capacidade de processar material esterilizado.
- Não foi considerado o custo de transferência de equipamentos, nem a receita gerada com a venda de equipamentos que fiquem sem uso.
- Não foram considerados custos de desligamento dos recursos humanos. Supõe-se que cada enfermeiro/técnico seja transferido para o CME centralizado ou para outro serviço em seu hospital de origem.
- Foram considerados apenas 5 tipos de materiais, sendo os mais utilizados nas cirurgias. Com isso, foi adotado um redutor de capacidade no modelo de 66% para garantir que os equipamentos e funcionários terão capacidade suficiente para processar também os demais materiais.
- Os níveis iniciais de estoque são considerados iguais a zero.
- A demanda é considerada determinística e baseada em dados históricos (de 2022) de demanda da atividade do centro cirúrgico de cada hospital, por ser o setor que mais consome DMR.

## Resultados

CENÁRIO 1: Atual

Função objetivo – custo: R\$ 30.126.907,90

$x = [0 \quad 1 \quad 0]$  – CME H2 é a única a ser aberta

$y = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$  – Todos os hospitais enviarão seus materiais para serem

esterilizados no H2

$$z = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 109 & 105 & 32 & 63 & 31 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} - \text{Apenas o H2 deverá ter estoques de}$$

materiais em sua CME: Bandeja Cateterismo (109), Bandeja Punção (105), Caixa Pequena (32), Caixa Básica (63) e Caixa Vídeo Geral (31)

$$s = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 2 & 0 & 33 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} - \text{O H2 deverá utilizar 1 Termo, 2 Autoclaves de 704L}$$

e 33 prateleiras para atender toda a demanda

$$n = \begin{bmatrix} 0 \\ 8 \\ 0 \end{bmatrix} - \text{Serão necessárias 8 pessoas (4 por turno) no H2 para atender}$$

toda a demanda

## CENÁRIO 2: CONSIDERANDO O H4 COM AUTOCLAVE DO H1DE 878L

Função objetivo – custo: R\$ 20.375.546,90

$$x = [0 \quad 0 \quad 1] - \text{CME H4 é a única a ser aberta}$$

$$y = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} - \text{Todos os hospitais enviarão seus materiais para serem}$$

esterilizados no H4

$$z = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 109 & 105 & 32 & 63 & 31 \end{bmatrix} - \text{Apenas o H4 deverá ter estoques de}$$

materiais em sua CME: Bandeja Cateterismo (109), Bandeja Punção (105), Caixa Pequena (32), Caixa Básica (63) e Caixa Vídeo Geral (31)

$$s = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 2 & 33 \end{bmatrix} - \text{O H4 deverá utilizar 1 Termo, 2 Autoclaves de 878L}$$

e 33 prateleiras para atender toda a demanda

$$n = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 8 \end{bmatrix} - \text{Serão necessárias 8 pessoas (4 por turno) no H4 para atender}$$

toda a demanda

### CENÁRIO 3: CONSIDERANDO O H4 COM AUTOCLAVE DO H2 DE 704L

Função objetivo – custo: R\$ 20.383.066,90

$x = [0 \ 0 \ 1]$  – CME H4 é a única a ser aberta

$y = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$  – Todos os hospitais enviarão seus materiais para serem

esterilizados no H4

$z = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 109 & 105 & 32 & 63 & 31 \end{bmatrix}$  – Apenas o H4 deverá ter estoques de

materiais em sua CME: Bandeja Cateterismo (109), Bandeja Punção (105), Caixa Pequena (32), Caixa Básica (63) e Caixa Vídeo Geral (31)

$s = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 2 & 0 & 33 \end{bmatrix}$  – O H4 deverá utilizar 1 Termo, 2 Autoclaves de 704L

e 33 prateleiras para atender toda a demanda

$n = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 8 \end{bmatrix}$  – Serão necessárias 8 pessoas (4 por turno) no H4 para atender

toda a demanda

### CENÁRIO 4: CONSIDERANDO O H1 COM AUTOCLAVE DO H2 DE 704L

Função objetivo – custo: R\$ 30.126.907,90

$x = [0 \ 1 \ 0]$  – CME H2 é a única a ser aberta

$y = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$  – Todos os hospitais enviarão seus materiais para serem

esterilizados no H2

$z = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 109 & 105 & 32 & 63 & 31 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$  – Apenas o H2 deverá ter estoques de

materiais em sua CME: Bandeja Cateterismo (109), Bandeja Punção (105), Caixa Pequena (32), Caixa Básica (63) e Caixa Vídeo Geral (31)

$$s = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 2 & 0 & 33 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} - \text{O H2 deverá utilizar 1 Termo, 2 Autoclaves de 704L}$$

e 33 prateleiras para atender toda a demanda

$$n = \begin{bmatrix} 0 \\ 8 \\ 0 \end{bmatrix} - \text{Serão necessárias 8 pessoas (4 por turno) no H2 para atender}$$

toda a demanda