

Protocolo Integrado *Lean* para *Layout* Produtivo: aplicação em indústria de pequeno porte durante processo de mudança de instalações

Integrated Lean Protocol for Production Layout: application in a small manufacturing company during facility relocation

Recebido: 10/09/2025 – Aprovado: 18/09/2026 – Publicado: 1/10/2026
Processo de Avaliação: Double Blind Review

Marco Aurélio da Cruz Gouveia
gouveiamarcoac@gmail.com
Escola Senai de Bragança Paulista
<https://orcid.org/0000-0002-4815-0417>

José Guilherme de Oliveira Ribeiro
jose.ribeiro2306@hotmail.com
Escola Senai de Bragança Paulista
<https://orcid.org/0009-0008-6374-015X>

RESUMO

As micro e pequenas empresas costumam definir o arranjo físico de suas instalações de forma intuitiva, o que incorpora ao processo desperdícios permanentes de movimentação e transporte. A mudança de instalações abre uma oportunidade rara de corrigir esse quadro, mas os métodos consolidados de projeto de *layout* pressupõem estrutura de engenharia, dados históricos e prazos de que essas empresas não dispõem. Este trabalho tem como objetivo desenvolver e validar empiricamente um protocolo de intervenção em arranjo físico para pequenas indústrias, fundamentado na manufatura enxuta e ajustado às restrições dos programas de extensão tecnológica. Adotou-se a pesquisa-ação, com abordagem qualitativa, em uma indústria de pequeno porte do interior paulista em processo de transferência para novo galpão, em atendimento de oitenta horas. O protocolo, denominado PILP, organiza em seis fases o mapa do fluxo de valor, o diagrama de espaguete, o senso de utilização e a modelagem tridimensional. A aplicação resultou em reduções de 43,33% na movimentação do processo de corte, 60,48% na movimentação para pesagem, 25,45% no

REMIPE – Revista de Micro e Pequenas Empresas e Empreendedorismo da Fatec Osasco - V. 12. Nº2 nov.2026-mar. 2027. pp. 147 – 169.



transporte interno e 33,51% na área ocupada, com retorno do investimento estimado em 3,8 meses. Conclui-se que ganhos expressivos não dependem de instrumental sofisticado, e sim de sua organização em sequência adequada ao porte da empresa. Como contribuição, o estudo propõe o uso do diagrama de espaguete para verificar a proposta antes da implantação e oferece critérios para priorizar atendimentos em programas de apoio às pequenas empresas.

Palavras-chave: arranjo físico, manufatura enxuta, pequenas empresas, diagrama de espaguete, extensão tecnológica

ABSTRACT

Micro and small enterprises often define the physical layout of their facilities intuitively, which builds permanent motion and transportation waste into the process. Facility relocation offers a rare opportunity to correct this situation, but established layout design methods assume engineering staff, historical data and timeframes that these companies lack. This study aims to develop and empirically validate a layout intervention protocol for small manufacturers, grounded in lean manufacturing and adjusted to the constraints of technological extension programs. Action research with a qualitative and quantitative approach was conducted in a small manufacturer in the interior of São Paulo state that was relocating to a new building, within an eighty-hour consultancy. The protocol, named PILP, organizes value stream mapping, spaghetti diagrams, the sort principle of 5S and three-dimensional modeling into six phases. Its application reduced motion in the cutting process by 43.33%, motion for raw material weighing by 60.48%, internal transportation by 25.45% and occupied area by 33.51%, with an estimated payback of 3.8 months. The results show that significant gains do not depend on sophisticated tools, but on organizing them in a sequence suited to the size of the company. As a contribution, the study proposes using the spaghetti diagram to verify the layout proposal before implementation and offers criteria for prioritizing interventions in small business support programs.

Keywords: facility layout, lean manufacturing, small business, spaghetti diagram, technological extension

1. INTRODUÇÃO

As micro e pequenas empresas respondem por parcela expressiva dos estabelecimentos produtivos e da geração de empregos no Brasil. Operam, porém, sob restrições severas de capital, de qualificação técnica e de acesso a serviços tecnológicos especializados. Nesse contexto, decisões estruturantes do sistema produtivo, entre elas a definição do arranjo físico das instalações, costumam ser tomadas de forma intuitiva, orientadas pela disponibilidade imediata de espaço e não por critérios técnicos de fluxo, ergonomia e eficiência operacional. O resultado recorrente é a consolidação de *layouts* que incorporam desperdícios permanentes ao processo produtivo.

Entre as decisões de projeto de operações, o arranjo físico é uma das que apresentam maior custo de reversão. Posicionados máquinas, bancadas, redes de energia e sistemas de exaustão, qualquer reconfiguração implica interrupção da produção, mobilização de recursos e custos de instalação, o que tende a perpetuar configurações inadequadas ao longo de anos. Slack, Brandon-Jones e Johnston (2018) destacam justamente esse caráter estruturante. Um arranjo físico mal concebido compromete o desempenho do sistema produtivo de modo difuso e persistente, e manifesta-se em fluxos longos, cruzamentos desnecessários, filas e insegurança operacional.

Sob a ótica da manufatura enxuta, essas manifestações correspondem a duas das sete categorias clássicas de desperdício sistematizadas por Ohno (1997), o transporte de materiais e a movimentação de pessoas. Ambas consomem tempo, espaço e energia sem agregar valor ao produto entregue ao cliente. A particularidade desses desperdícios está em que raramente são percebidos pela empresa como perdas, já que se apresentam como parte natural do trabalho. O operador que caminha entre dois pavimentos considera o deslocamento parte de sua tarefa, e não um custo evitável.

A mudança de instalações constitui, nesse cenário, uma janela de oportunidade pouco frequente. Quando a empresa transfere sua operação para um novo galpão, o custo marginal de posicionar os recursos segundo critérios técnicos aproxima-se de zero, pois a movimentação dos equipamentos já está prevista. É o momento de maior relação benefício-custo para intervenções em arranjo físico. É também o de maior risco, já que a reprodução

do *layout* anterior no novo espaço consolida os mesmos desperdícios por mais um ciclo de vida das instalações.

A literatura brasileira sobre projeto de arranjo físico é razoavelmente consolidada quanto a métodos e ferramentas, com destaque para o Planejamento Sistemático de *Layout* e para o instrumental da manufatura enxuta. Bitencourt *et al.* (2024), por exemplo, aplicam o método SLP na concepção de uma planta industrial e discutem as fases de localização e de arranjo físico geral e detalhado. Observam-se, entretanto, duas lacunas. A primeira é empírica, pois parte relevante dessa produção apoia-se em plantas hipotéticas ou em ganhos estimados qualitativamente, sem mensuração das distâncias percorridas antes e depois da intervenção. A segunda é metodológica e constitui o foco deste trabalho. Os métodos consolidados de projeto de instalações foram concebidos para organizações com estrutura interna de engenharia, dados históricos de produção e horizonte de projeto dilatado, condições ausentes na pequena indústria brasileira.

Essa segunda lacuna tem consequência prática direta. Um protocolo de intervenção destinado a esse porte de empresa precisa operar sem séries históricas, apoiando-se em observação direta e medição *in loco*. Precisa empregar instrumentos que dispensem *software* especializado e instrumentação onerosa. Precisa concluir em prazo compatível com o de um atendimento de extensão tecnológica. E precisa produzir resultados verificáveis antes da implantação, dado que o custo de reversão inviabiliza a correção posterior. Não se trata, portanto, de simplificar métodos existentes, mas de organizá-los em uma sequência calibrada por essas restrições.

Há ainda uma dimensão institucional. No Brasil, o acesso das micro e pequenas empresas a serviços tecnológicos tem sido viabilizado por programas de extensão tecnológica que articulam instituições de ciência e tecnologia, entidades de apoio empresarial e o setor produtivo. Um protocolo replicável e validado empiricamente interessa diretamente ao desenho desses programas, pois reduz a dependência do resultado em relação à experiência individual do consultor designado.

Diante desse quadro, o trabalho parte da seguinte questão. Como estruturar um protocolo de intervenção em arranjo físico que seja exequível nas condições de uma pequena

indústria e capaz de produzir reduções mensuráveis e verificáveis nos deslocamentos internos e na área ocupada?

O objetivo geral deste trabalho é desenvolver e validar empiricamente um protocolo de intervenção em arranjo físico para pequenas indústrias, fundamentado nos princípios da manufatura enxuta e calibrado pelas restrições operacionais dos programas de extensão tecnológica.

Cinco objetivos específicos desdobram essa proposta.

- a) formalizar o protocolo em fases, instrumentos e produtos, explicitando as restrições que condicionam cada escolha metodológica;
- b) aplicar o protocolo a uma pequena indústria em processo de transferência para novas instalações, diagnosticando os desperdícios de movimentação e transporte associados ao arranjo físico do estado presente;
- c) mensurar as distâncias percorridas por operadores e materiais nas operações críticas e a área efetivamente ocupada pelos recursos produtivos, estabelecendo a linha de base da intervenção;
- d) verificar a proposta de arranjo físico antes da implantação e quantificar a variação dos indicadores entre o estado presente e o estado futuro validado;
- e) discutir a aderência do protocolo às restrições das pequenas empresas e às condições dos programas de extensão tecnológica, bem como a durabilidade dos ganhos obtidos e as barreiras à sua implantação.

O artigo está organizado em cinco seções. Após esta introdução, que apresenta também os objetivos do estudo, expõe-se o referencial teórico que fundamenta o protocolo. Segue-se o método, no qual o protocolo é formalizado, e, na sequência, os resultados de sua aplicação e a discussão à luz da literatura. As considerações finais reúnem as limitações do estudo e as sugestões de pesquisas futuras.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

A manufatura enxuta consolidou-se a partir do Sistema Toyota de Produção como um conjunto articulado de princípios voltados à eliminação sistemática das atividades que consomem recursos sem agregar valor ao produto. Ohno (1997) organiza essas atividades

em sete categorias de desperdício, que são superprodução, espera, transporte, processamento desnecessário, estoque, movimentação e produtos defeituosos. A identificação e a supressão dessas perdas constituem o eixo do sistema, sustentado pelos pilares do *just in time* e do *jidoka*, conforme sistematizado por Liker (2005).

Shingo (1996) acrescenta a essa formulação uma distinção operacionalmente relevante. Processos e operações constituem eixos distintos de análise, e a melhoria do processo, isto é, do fluxo do material ao longo da transformação, precede em importância a melhoria das operações realizadas em cada posto. Essa hierarquia é particularmente pertinente ao estudo do arranjo físico, na medida em que a disposição espacial dos recursos determina o fluxo e, portanto, condiciona o desempenho de todas as operações subsequentes.

Entre as sete categorias, transporte e movimentação apresentam relação direta com o arranjo físico. O transporte refere-se ao deslocamento de materiais entre etapas do processo, e a movimentação, aos deslocamentos realizados pelo operador durante a execução de sua tarefa. Womack e Jones (2004) observam que ambas tendem a ser subestimadas nas organizações porque se distribuem em pequenas frações ao longo da jornada e só se tornam visíveis quando agregadas ao longo de um ciclo produtivo completo. Essa característica justifica metodologicamente a mensuração acumulada dos deslocamentos por período de produção, e não por operação isolada.

Arranjo físico, *layout* ou leiaute designa a disposição espacial dos recursos de transformação, ou seja, de máquinas, equipamentos, bancadas, estoques e pessoas, dentro da instalação produtiva. Slack, Brandon-Jones e Johnston (2018) classificam os arranjos físicos em quatro tipos básicos, a saber, posicional, por processo, celular e por produto. A escolha entre eles decorre da relação entre volume e variedade da produção, sendo o arranjo celular e o arranjo por produto os mais aderentes a operações de volume moderado a alto com baixa variedade.

Tompkins *et al.* (2010) sustentam que o projeto de instalações deve partir da análise do fluxo de materiais, uma vez que este determina as relações de proximidade entre as áreas funcionais. Ao formalizar o Planejamento Sistemático de *Layout*, Muther (1978) estruturou essa lógica em fases sucessivas, quais sejam, localização, arranjo físico geral, arranjo físico detalhado e implantação, apoiadas em instrumentos como o diagrama de inter-relações e a

carta de proximidades. Bitencourt *et al.* (2024) demonstram a aplicabilidade dessa sequência metodológica e evidenciam a importância da avaliação comparativa entre alternativas antes da decisão final.

Esses métodos, entretanto, pressupõem condições nem sempre presentes em empresas de pequeno porte, como dados de fluxo entre pares de áreas, prazo compatível com a construção de matrizes de inter-relações e equipe capaz de avaliar alternativas. Adaptar esse instrumental a contextos de baixa maturidade técnica e prazo restrito constitui, portanto, problema metodológico legítimo, e não mera simplificação operacional.

Corrêa e Corrêa (2022) alertam para o fato de que decisões de arranjo físico envolvem *trade-offs* que raramente admitem solução ótima única. A proximidade que favorece o fluxo de um produto pode prejudicar o de outro, e a concentração de equipamentos que viabiliza um sistema de exaustão centralizado pode restringir a flexibilidade futura. Cabe ao projeto explicitar os critérios de decisão e as premissas adotadas, tornando as escolhas auditáveis e revisáveis.

O mapa do fluxo de valor permite representar de forma integrada o fluxo de materiais e o fluxo de informações ao longo do processo produtivo. Rother e Shook (2003) o descrevem como ferramenta de visualização do estado presente e de projeto do estado futuro, capaz de evidenciar tempos de ciclo, estoques intermediários, recursos envolvidos e os mecanismos de programação e controle da produção. Sua principal contribuição está em deslocar a análise do posto de trabalho isolado para o fluxo completo, o que revela desperdícios que a observação pontual não captura.

O diagrama de espagete complementa o mapa do fluxo de valor ao representar graficamente o percurso físico efetivamente realizado por materiais, equipamentos ou pessoas sobre a planta da instalação. Quando denso e emaranhado, daí a designação, o traçado resultante evidencia a inadequação entre a sequência lógica do processo e a disposição espacial dos recursos. Sua utilidade é dupla. Opera como instrumento de diagnóstico, ao tornar imediatamente perceptível o excesso de deslocamento, e como instrumento de mensuração, ao permitir a quantificação das distâncias percorridas quando associado às dimensões reais da planta e à frequência das rotas. Sua aplicação sobre

propostas de arranjo ainda não implantadas, e não apenas sobre o estado presente, é discutida na seção 4 como elemento constitutivo do protocolo aqui proposto.

O programa 5S constitui uma das bases da organização do ambiente produtivo e articula cinco sentidos, os de utilização, ordenação, limpeza, padronização e autodisciplina. Campos (2004) e Hirano (1994) destacam seu papel como pré-condição para intervenções mais sofisticadas de melhoria, na medida em que estabelece as condições materiais mínimas para a gestão visual e para a padronização do trabalho.

Em projetos de arranjo físico, o primeiro sentido, o de utilização ou *seiri*, assume relevância operacional particular. A triagem entre o necessário e o desnecessário precede logicamente qualquer decisão sobre disposição de recursos, uma vez que dimensionar o espaço em função de materiais que não serão utilizados equivale a projetar o desperdício. Em processos de mudança de instalações, essa precedência é ainda mais evidente. Transferir itens obsoletos para o novo galpão significa transportá-los, aloca-los e, eventualmente, ampliá-lo em função deles.

Os demais sentidos cumprem função distinta e igualmente relevante. São eles que sustentam o arranjo projetado ao longo do tempo e impedem a erosão gradual da configuração por acúmulo de materiais, ocupação irregular de corredores e inserção não criteriosa de novos equipamentos. Essa distinção entre o sentido que habilita o projeto e os sentidos que preservam seus resultados é retomada na discussão.

As empresas de pequeno porte enfrentam limitações estruturais para incorporar práticas de gestão da produção, entre elas a ausência de quadro técnico dedicado, a concentração das decisões no proprietário, o horizonte de planejamento curto e a restrição de capital para investimentos cujo retorno não seja imediato. Programas de extensão tecnológica atuam precisamente sobre essa lacuna e disponibilizam serviços tecnológicos especializados por meio da articulação entre entidades de apoio empresarial e instituições de ciência e tecnologia (SEBRAE, 2024).

A configuração desses programas, com atendimento delimitado em escopo, prazo e carga horária, conduzido por consultor externo em interação direta com a empresa, impõe condicionantes metodológicos relevantes. O diagnóstico precisa ser rápido e apoiado em

observação direta. As soluções precisam ser exequíveis com os recursos disponíveis. E a validação precisa ocorrer com o decisor, cuja adesão determina a efetiva implantação.

Essas condicionantes aproximam a intervenção da pesquisa-ação, na qual o pesquisador participa da transformação da realidade estudada e o conhecimento é produzido de forma concomitante à ação (Thiollent, 2011). Coughlan e Coughlan (2002) sistematizam sua aplicação à gestão de operações, com o ciclo de diagnóstico, planejamento da ação, execução e avaliação, e exigem que a contribuição se dirija simultaneamente à organização estudada e ao corpo de conhecimento da área. É essa dupla exigência que orienta a formalização do protocolo na seção seguinte. A intervenção não se justifica apenas pelos ganhos obtidos na empresa, mas pela replicabilidade da sequência metodológica que os produziu.

3. MÉTODO

Quanto à natureza, esta pesquisa é aplicada. Quanto aos objetivos, é descritiva e exploratória. Quanto à abordagem, é quali-quantitativa, pois combina a observação direta do processo produtivo com a mensuração de indicadores físicos de deslocamento e de ocupação de área (Gil, 2008). Quanto ao procedimento, adotou-se a pesquisa-ação (Thiollent, 2011; Coughlan; Coughlan, 2002), dado que os autores participaram diretamente do diagnóstico, da concepção, da verificação e da validação da intervenção analisada, articulando a solução de um problema organizacional concreto à produção de conhecimento generalizável.

A unidade de análise é uma indústria de pequeno porte do setor de transformação de materiais, fabricante de ferramentas abrasivas destinadas ao acabamento de superfícies, localizada no interior do estado de São Paulo. A empresa opera em turno único, com cinco operadores diretos na linha de produção analisada, e encontrava-se, no período do estudo, em processo de transferência para um novo galpão produtivo. A intervenção foi conduzida no âmbito de um programa de extensão tecnológica, com carga horária de oitenta horas presenciais. A seleção do caso obedeceu a critério de conveniência teórica. Buscava-se uma empresa que reunisse simultaneamente porte reduzido, ausência de estrutura interna de engenharia e processo de realocação em curso, combinação que caracteriza as condições-limite para as quais o protocolo foi concebido.

3.1 Questões éticas e de confidencialidade.

Os dados decorrem de atendimento técnico regido por acordo de confidencialidade, e a empresa autorizou expressamente seu uso para fins científicos, desde que preservado o sigilo de sua identidade. Por isso, foram omitidos razão social, identificação fiscal, localidade específica, ano de fundação, nomes de dirigentes e colaboradores, designação comercial dos produtos e segmento de destino. Os valores monetários absolutos foram suprimidos, e os resultados econômicos aparecem apenas em termos relativos. Os indicadores físicos de distância e de área foram preservados em suas medidas originais, por não permitirem a identificação da organização. Registros fotográficos e plantas do galpão foram substituídos por representações esquemáticas.

O protocolo aqui denominado Protocolo Integrado *Lean* para *Layout* Produtivo (PILP) organiza instrumentos consolidados da manufatura enxuta em uma sequência de seis fases, calibrada pelas restrições descritas na seção 1, quais sejam, a ausência de séries históricas de produção, a indisponibilidade de instrumentação especializada, o prazo restrito de atendimento e a impossibilidade de correção posterior das decisões de arranjo. O Quadro 1 sintetiza suas fases, instrumentos e produtos.

Quadro 1 Fases, instrumentos e produtos do Protocolo Integrado *Lean* para *Layout* Produtivo (PILP)

Fase	Propósito	Instrumentos	Produto
F1 Alinhamento	Delimitar escopo, prazo e critérios de decisão junto ao decisor	Entrevista semiestruturada com proprietário e gerente de produção	Escopo acordado e premissas técnicas e econômicas explicitadas
F2 Diagnóstico	Compreender o processo tal como executado e localizar os focos de desperdício	<i>Gemba Walk</i> , mapa do fluxo de valor e diagrama de espaguete do estado presente	Mapa do estado presente com focos de desperdício identificados
F3 Mensuração	Estabelecer linha de base quantitativa das rotas críticas e da área ocupada	Medição <i>in loco</i> , contagem da frequência das rotas e modelagem tridimensional	Linha de base dos indicadores
F4 Projeto	Depurar o inventário e conceber o arranjo do estado futuro	Senso de utilização (<i>seiri</i>) e modelagem tridimensional	Proposta de arranjo físico
F5 Verificação	Testar a proposta antes da implantação, retornando a F4 quando detectadas inadequações	Diagrama de espaguete aplicado à proposta e análise de segurança operacional	Proposta revisada ou confirmada
F6 Validação e avaliação	Obter a adesão do decisor e quantificar a variação dos indicadores	Reunião de validação, comparação com a linha de base e demarcação <i>in loco</i>	Arranjo validado e resultados quantificados

Fonte: Elaborado pelos autores.

Três características distinguem o PILP das sequências metodológicas consolidadas no projeto de instalações. A primeira é a precedência da mensuração (F3) sobre o projeto (F4). A linha de base é estabelecida antes da concepção da proposta, de modo que a avaliação posterior não dependa de estimativas retrospectivas. A segunda é a existência de uma fase de verificação (F5) logicamente anterior à implantação, com retorno explícito à fase de projeto quando detectadas inadequações, recurso que responde ao elevado custo de reversão característico das decisões de arranjo físico. A terceira é a adoção de instrumentos deliberadamente frugais. Trena, planta impressa e contagem manual de rotas substituem instrumentação e *software* especializados, condição para a exequibilidade do protocolo no prazo e no orçamento de um atendimento de extensão tecnológica.

A observação do ambiente produtivo em F2 adotou a prática do *Gemba Walk*, caracterizada pelo deslocamento do analista ao local de realização do trabalho, acompanhado por responsável da empresa, com registro das sequências operacionais tal como efetivamente executadas, e não conforme documentadas. Essa opção metodológica é decisiva em empresas de pequeno porte, nas quais a documentação de processos é frequentemente inexistente ou desatualizada, e constitui a alternativa viável à ausência de registros históricos.

O termo japonês *gemba* designa o lugar real, aquele onde o trabalho efetivamente acontece e onde o valor é gerado. Na manufatura enxuta, a expressão *Gemba Walk* nomeia a ida deliberada e sistemática do analista a esse local para observar o processo em execução e coletar dados na fonte, em contraposição à análise apoiada em relatórios, fluxogramas ou descrições formais. A prática vincula-se ao princípio do *genchi genbutsu*, ir ao local e ver por si mesmo, que Liker (2005) sistematiza entre os princípios de gestão do Sistema Toyota de Produção, e foi consolidada como abordagem gerencial por Imai (2014).

Foram definidos quatro indicadores para a avaliação comparativa entre o estado presente e o estado futuro proposto, descritos no Quadro 2.

Quadro 2 Indicadores adotados e procedimento de mensuração

Indicador	Unidade	Procedimento de mensuração
Movimentação no processo de corte	metros por produção diária	Traçado das rotas sobre a planta, contagem da frequência de cada rota e produto entre frequência e distância unitária medida
Movimentação para pesagem de matéria-prima	metros por produção diária	Mesmo procedimento, aplicado à rota entre estoque de matéria-prima e posto de pesagem
Transporte interno do produto após o corte	metros por produção diária	Mesmo procedimento, aplicado à rota entre o posto de corte e a etapa subsequente
Área ocupada pelos recursos produtivos	metros quadrados	Medição <i>in loco</i> das áreas efetivamente ocupadas e conferência sobre o modelo tridimensional

Fonte: Elaborado pelos autores.

As distâncias do estado presente foram obtidas por medição direta com trena, tomando-se como referência os percursos efetivamente realizados pelos operadores, identificados e diferenciados por rota durante a observação. As distâncias do estado futuro foram obtidas sobre o modelo tridimensional da proposta validada, mantidas constantes a frequência das rotas e a sequência operacional, de modo que a variação observada seja atribuível exclusivamente à reconfiguração espacial. Adotou-se como unidade de referência a produção correspondente a um dia de operação em turno único.

A análise econômica foi conduzida a partir da relação entre a área liberada, o custo unitário de ocupação e o investimento total no programa, o que resulta no tempo de retorno do investimento. Conforme exposto na descrição do método, apenas o resultado dessa relação, expresso em meses, é reportado.

Três limitações devem ser explicitadas. A primeira decorre do prazo do atendimento e das adequações estruturais pendentes no novo galpão, que impediram acompanhar a mudança física. Os valores do estado futuro são, portanto, projeções derivadas de medições reais do estado presente aplicadas à configuração validada, e não medições posteriores à implantação. A segunda é a aplicação única do protocolo, que autoriza generalização analítica, no sentido de Yin (2015), mas não estatística, de modo que a robustez do PILP depende de replicações em contextos diversos. A terceira é a participação dos autores na intervenção, própria da pesquisa-ação, que introduz risco de viés na interpretação dos

resultados, mitigado pela adoção de indicadores físicos objetivos, pela precedência da mensuração sobre o projeto e pela validação das propostas com os decisores da empresa.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O processo produtivo analisado compreende as etapas de pesagem e mistura das matérias-primas, prensagem do composto, conformação em moldes, cura em forno, aplicação de base polimérica para fixação e, por fim, usinagem, torneamento e acabamento final. A produção é acionada por pedidos de clientes e por ordens de reposição de estoque, o que caracteriza um sistema de produção em lotes com fluxo predominantemente contínuo entre as etapas.

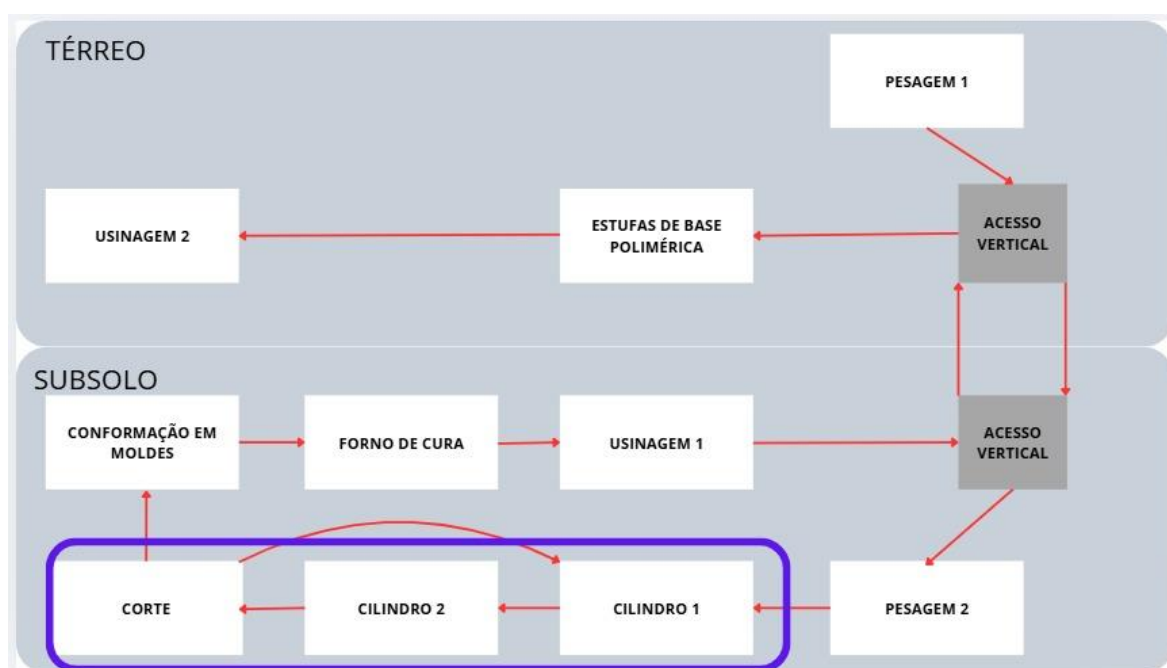
A fase de alinhamento explicitou duas premissas que condicionariam fortemente o desenho posterior, o aproveitamento do ponto de entrada de energia elétrica existente no novo galpão, de modo a evitar custos de nova instalação, e o agrupamento dos tornos em célula única, o que viabiliza um sistema centralizado de exaustão. O registro dessas premissas na primeira fase, e não sua emergência tardia durante o projeto, mostrou-se decisivo para evitar retrabalho, e ilustra o argumento de Corrêa e Corrêa (2022) sobre a natureza do projeto de arranjo físico como exercício de conciliação entre restrições concorrentes, e não como busca de um ótimo abstrato.

A observação do ambiente produtivo revelou que a instalação então ocupada dispunha de área física superior às necessidades do processo, o que poderia sugerir folga operacional. A configuração em dois pavimentos, entretanto, com etapas de fabricação distribuídas entre o térreo e o subsolo, produzia efeito oposto ao esperado. Essa divisão não decorria de opção operacional, e sim de restrição construtiva, uma vez que o pavimento térreo não dispunha de capacidade estrutural compatível com o peso dos equipamentos de maior porte, o que exigia sua instalação no subsolo. A fragmentação vertical do processo impunha deslocamentos verticais recorrentes de pessoas e materiais, ampliava o tempo despendido em atividades logísticas internas e impedia a obtenção de fluxo contínuo.

O mapeamento do fluxo de valor do estado presente permitiu identificar as etapas críticas e localizar os pontos de maior concentração de deslocamentos. A elaboração do diagrama de espaguete evidenciou que o subsolo, onde se realizavam as operações de

mistura e corte da manta, concentrava a maior densidade de percursos, com elevada repetitividade de movimentos ao longo da jornada. A associação entre a alta frequência dessas rotas e a distância entre os equipamentos envolvidos configurava o principal foco de desperdício do processo. A Figura 1 representa esquematicamente o arranjo físico do estado presente e as rotas identificadas.

Figura 1 Arranjo físico esquemático do estado presente e diagrama de espagete



Fonte: Elaborado pelos autores.

Nota: a linha azul representa um ciclo repetitivo.

fase de mensuração estabeleceu a linha de base dos quatro indicadores definidos no método, por medição direta das rotas identificadas no diagnóstico e da área efetivamente ocupada pelos recursos produtivos. A anterioridade dessa fase em relação ao projeto assegura que os valores de referência não tenham sido influenciados pelo conhecimento da solução posteriormente adotada.

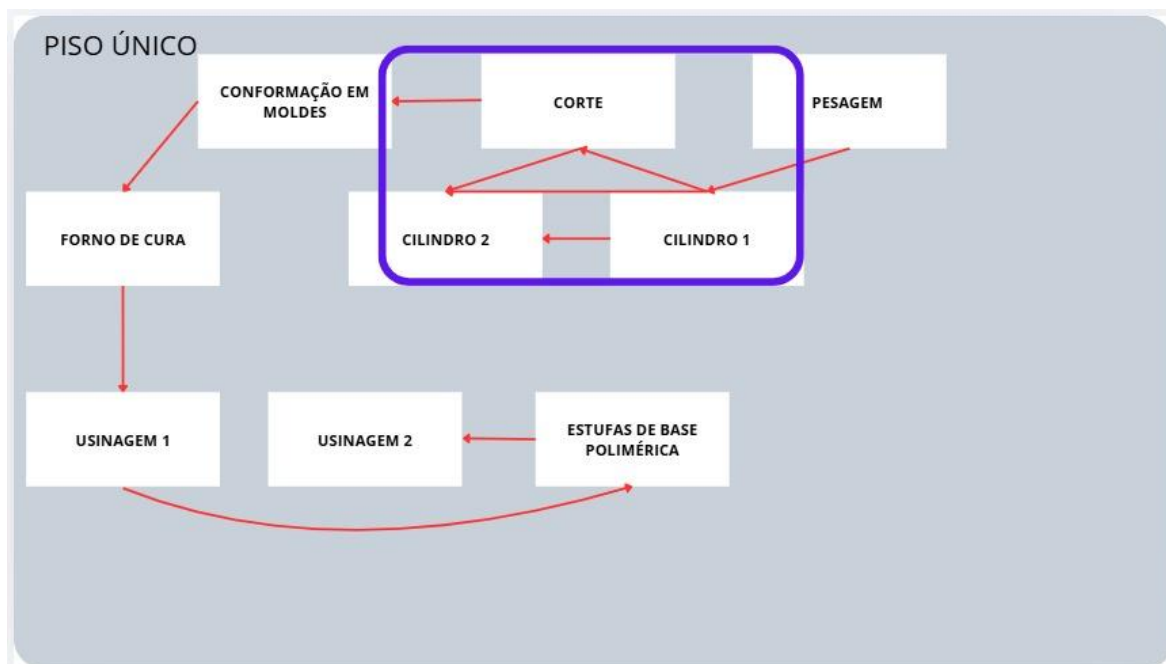
Iniciada a fase de projeto, aplicou-se o senso de utilização ao ambiente produtivo. A triagem resultou na identificação e remoção de um palete contendo materiais sem função no processo e de aproximadamente setenta peças reprovadas que ocupavam espaço no estoque

aguardando destinação. O resultado material dessa etapa é modesto em volume, mas sua função no protocolo é estrutural. A triagem prévia assegura que o dimensionamento do novo arranjo considere apenas os recursos efetivamente necessários e evita que itens obsoletos sejam transportados, realocados e incorporados à base de cálculo da área requerida. Confirma-se, no caso, a precedência lógica do *seiri* sobre as decisões de *layout* apontada por Hirano (1994). Dimensionar espaço para o desnecessário é projetar desperdício de forma permanente.

A primeira versão da proposta de arranjo físico foi submetida à fase de verificação, conduzida com apoio do diagrama de espaguete projetado sobre a planta proposta. O procedimento revelou duas inadequações que a leitura convencional do desenho não havia evidenciado. A primeira consistia na persistência de fluxos cruzados entre processos, que exigiam o percurso de praticamente toda a extensão do galpão para o início das operações. A segunda referia-se ao posicionamento dos cilindros misturadores, cuja disposição projetada mantinha o operador exposto à área de operação de duas máquinas em funcionamento simultâneo, o que configurava risco desnecessário.

Acionado o retorno à fase de projeto previsto no protocolo, desenvolveu-se uma segunda versão orientada explicitamente pela continuidade do fluxo, pela redução das movimentações internas, pela segurança do operador e pela eficiência do sistema de exaustão. O ganho principal dessa reconfiguração concentrou-se na aproximação entre os cilindros misturadores e a prensa de corte, que reduziu os deslocamentos na operação de maior repetitividade do processo. Submetida novamente à verificação, a proposta foi confirmada e encaminhada à fase de validação. A Figura 2 apresenta o arranjo físico resultante.

Figura 2 Arranjo físico esquemático do estado futuro validado e diagrama de espaguete



Fonte: Elaborado pelos autores.

Nota: a linha azul representa um ciclo repetitivo.

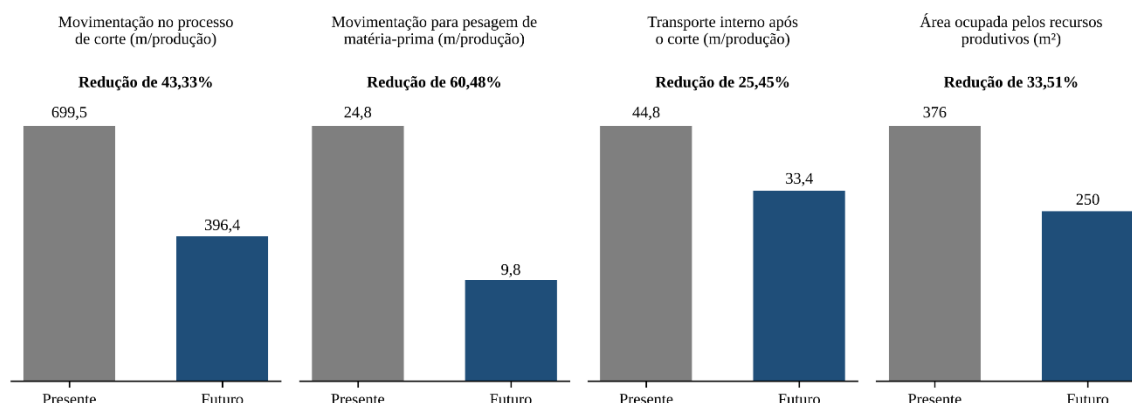
A Tabela 1 apresenta a comparação entre o estado presente e o estado futuro validado para os indicadores definidos no método, cuja representação gráfica consta da Figura 3.

Tabela 1 Comparação entre estado presente e estado futuro validado

Indicador	Estado presente	Estado futuro	Redução
Movimentação no processo de corte (m/produção)	699,5	396,4	43,33%
Movimentação para pesagem de matéria-prima (m/produção)	24,8	9,8	60,48%
Transporte interno após o corte (m/produção)	44,8	33,4	25,45%
Área ocupada pelos recursos produtivos (m ²)	376	250	33,51%

Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

Figura 3 Comparação dos indicadores entre o estado presente e o estado futuro validado



Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

A redução mais expressiva em termos absolutos ocorreu na movimentação do processo de corte, com supressão de 303,1 metros por produção diária. Considerada a operação em turno único ao longo de um mês típico, o montante acumulado supera seis quilômetros de deslocamento evitado, grandeza que evidencia por que desperdícios de movimentação, imperceptíveis na observação pontual, tornam-se materialmente relevantes quando agregados, conforme observam Womack e Jones (2004).

A redução percentual mais acentuada verificou-se na movimentação para pesagem de matéria-prima, com 60,48%. Trata-se de rota de baixa extensão absoluta, cuja melhoria decorreu diretamente do reposicionamento do estoque de matéria-prima em relação ao posto de pesagem, solução de custo praticamente nulo no contexto da mudança.

A redução de 33,51% na área ocupada, correspondente a 126 metros quadrados liberados, foi obtida sem supressão de recursos produtivos e sem redução da capacidade instalada. Esse resultado decorre da eliminação da fragmentação vertical do processo e do agrupamento dos tornos em célula única, e reforça a distinção entre área disponível e área necessária. O excedente de espaço no estado presente não constituía capacidade, mas desperdício.

Quanto ao resultado econômico, a área liberada foi convertida em ganho a partir do custo unitário de ocupação das novas instalações. Confrontado esse ganho mensal recorrente com o investimento total no programa de extensão tecnológica, obteve-se tempo de retorno

do investimento de aproximadamente 3,8 meses. Vale ressaltar que o cálculo considera exclusivamente o ganho associado à ocupação de área, por ser o único diretamente monetizável com os dados disponíveis. Os ganhos decorrentes da redução de deslocamentos, da melhoria ergonômica e da redução da exposição a riscos operacionais não foram incorporados, de modo que o tempo de retorno apurado deve ser interpretado como estimativa conservadora.

O caso evidencia que a disponibilidade de espaço não constitui, por si, condição de eficiência operacional. A folga de área tornou viável acomodar no subsolo os equipamentos de maior porte, que o térreo não suportava estruturalmente, sem que a fragmentação vertical do fluxo fosse percebida como problema, o que consolidou um custo permanente de movimentação. A situação ilustra o argumento de Slack, Brandon-Jones e Johnston (2018) de que o desempenho do arranjo físico decorre da adequação entre disposição e fluxo, e não da quantidade de área disponível, e alinha-se à primazia do fluxo de materiais defendida por Tompkins *et al.* (2010). Acrescenta-se que as características construtivas do imóvel, como a capacidade de carga dos pisos, integram as restrições do projeto e devem ser levantadas já na fase de alinhamento.

A literatura consultada apresenta o diagrama de espaguete predominantemente como ferramenta de diagnóstico do estado presente. Sua incorporação ao PILP como fase autônoma de verificação, aplicada à proposta antes da implantação, permitiu identificar fluxos cruzados e uma condição de risco operacional que motivaram a revisão do desenho. Considerado o elevado custo de reversão característico das decisões de arranjo físico, essa inversão de uso apresenta-se como prática de baixo custo e alto retorno potencial, replicável independentemente do porte da organização.

A exequibilidade do PILP decorre de escolhas metodológicas deliberadas, cada uma respondendo a uma restrição característica do porte. A ausência de séries históricas foi contornada pela observação direta em *Gemba Walk*. A falta de instrumentação e de *software* especializados foi suprida por trena, planta impressa e contagem manual de rotas, cuja precisão, embora inferior à de sistemas de rastreamento, mostrou-se suficiente para discriminar as configurações alternativas. A concentração das decisões no proprietário, frequentemente vista como obstáculo, revelou-se vantagem, pois o alinhamento com decisor

único substituiu, com ganho expressivo de tempo, as estruturas de governança exigidas em organizações maiores.

Vale registrar, entretanto, uma renúncia deliberada. O prazo de oitenta horas inviabilizaria a construção de matrizes de inter-relações entre pares de áreas ou o levantamento detalhado de tempos de ciclo para todas as etapas, procedimentos previstos em métodos como o Planejamento Sistemático de *Layout* (Muther, 1978). O PILP não substitui esses métodos nem com eles compete. Opera em condições nas quais sua aplicação integral é inviável e aceita menor exaustividade analítica em troca de exequibilidade. Essa delimitação de escopo deve ser explicitada para que o protocolo não seja aplicado a contextos que comportariam instrumental mais robusto.

A concentração dos ganhos em soluções de baixa complexidade técnica, como reposicionamento de estoques, agrupamento de equipamentos e supressão da fragmentação vertical, sugere que o fator determinante do resultado não foi a sofisticação do instrumental empregado, mas a oportunidade de aplicá-lo antes da consolidação física das instalações. Em empresas de pequeno porte, nas quais a capacidade de investimento em reconfigurações é limitada, a mudança de instalações constitui possivelmente a única janela viável para intervenções dessa natureza ao longo de um ciclo prolongado.

Desse achado decorrem três implicações para programas de extensão tecnológica. A primeira é de priorização, pois empresas em processo de realocização oferecem relação benefício-custo excepcional para atendimentos em arranjo físico. A segunda é de padronização da entrega. A verificação prévia à implantação, aqui conduzida por iniciativa técnica, poderia tornar-se requisito formal do atendimento e reduziria a dependência do resultado em relação à experiência do consultor. A terceira diz respeito ao horizonte do atendimento. Programas de carga horária fechada tendem a encerrar-se na entrega do projeto, e não na verificação de seus resultados, o que transfere à empresa o risco da implantação justamente na etapa em que sua capacidade técnica é menor.

Ganhos obtidos por reconfiguração de arranjo físico tendem a ser mais duráveis que os de iniciativas de melhoria contínua, pois estão incorporados à disposição física dos recursos e não dependem da manutenção diária de comportamentos. Essa durabilidade, contudo, não é automática. O acúmulo de materiais em corredores, a ocupação das áreas

liberadas como depósito improvisado e a inserção não criteriosa de novos equipamentos reproduzem o mecanismo que originou o estado presente diagnosticado. A preservação do arranjo depende, portanto, dos sentidos de ordenação, padronização e autodisciplina, dos quais o protocolo mobiliza apenas o antecedente lógico. Recomenda-se manter a demarcação de piso executada na fase de validação como dispositivo permanente de gestão visual, e não apenas como instrução de montagem.

A principal barreira à implantação é temporal, pois o atendimento se encerrou antes da transferência física. Permanecem três riscos. Adequações de obra no novo galpão podem alterar o posicionamento previsto sem que as premissas de fluxo sejam reconsideradas, profissionais contratados para a montagem tomam decisões sem conhecer os critérios do projeto e a pressão pela retomada rápida da produção favorece arranjos improvisados que tendem a se tornar definitivos. A mitigação adotada foi a demarcação física do posicionamento no galpão antes do encerramento do atendimento, que converte o projeto em instrução executável no próprio local. Trata-se de mitigação parcial, pois sem acompanhamento posterior, ainda que remoto, não há garantia de aderência entre o projetado e o implantado.

Por fim, os resultados convergem com as dimensões da sustentabilidade. A redução de 126 metros quadrados na área necessária diminui a demanda por espaço construído, iluminação e climatização, a supressão de mais de trezentos metros diários de deslocamento reduz o desgaste físico dos operadores e o reposicionamento dos cilindros misturadores diminui a exposição ao risco. Ainda que não monetizados, esses efeitos mostram que a racionalização do arranjo físico atua simultaneamente sobre as dimensões econômica, ambiental e social do desempenho, sem exigir investimento adicional da pequena empresa.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho desenvolveu e validou empiricamente o Protocolo Integrado *Lean* para *Layout* Produtivo (PILP), sequência de seis fases para intervenção em arranjo físico de pequenas indústrias, fundamentada nos princípios da manufatura enxuta e calibrada pelas restrições operacionais dos programas de extensão tecnológica. O objetivo geral foi atingido. O protocolo foi formalizado em fases, instrumentos e produtos, aplicado integralmente a

uma pequena indústria em processo de transferência de instalações e avaliado por indicadores físicos mensurados antes e depois da intervenção.

Os objetivos específicos foram igualmente contemplados. O diagnóstico identificou a fragmentação vertical do processo como origem principal dos desperdícios de movimentação e transporte, a mensuração prévia estabeleceu a linha de base da avaliação e a fase de verificação corrigiu, antes da implantação, fluxos cruzados e uma condição de risco presentes na primeira versão do arranjo. As reduções obtidas variaram de 25,45% a 60,48% nos deslocamentos e alcançaram 33,51% na área ocupada, com retorno do investimento estimado em 3,8 meses.

O estudo demonstra que intervenções estruturadas em arranjo físico, realizadas durante a mudança de instalações, são oportunidade singular de ganhos operacionais expressivos em pequenas empresas, e que capturá-la não depende de instrumental sofisticado, mas de sua organização em sequência adequada às restrições do porte. Reduções superiores a 40% nos deslocamentos da operação crítica e a um terço da área ocupada foram obtidas com trena, planta impressa e contagem manual de rotas, em atendimento de oitenta horas e em empresa sem estrutura interna de engenharia. É esse resultado, e não a magnitude isolada dos percentuais, que sustenta a contribuição do trabalho.

As contribuições situam-se em três planos. No plano metodológico, o PILP formaliza uma sequência replicável cuja principal originalidade é a fase de verificação prévia à implantação, na qual o diagrama de espaguete, tradicionalmente empregado no diagnóstico, é aplicado à proposta ainda em projeto para detectar inadequações antes que se tornem custosas. No plano empírico, o trabalho documenta ganhos quantificados em condições reais de operação, em uma literatura na qual predominam propostas avaliadas qualitativamente ou desenvolvidas sobre plantas hipotéticas. No plano da gestão de programas de apoio, oferece critérios de priorização de atendimentos e de padronização de entregas.

As limitações descritas no método delimitam o alcance dessas conclusões, em especial o caráter projetado dos valores do estado futuro e a aplicação do protocolo em caso único.

Como agenda de pesquisa, sugere-se um estudo longitudinal que compare, após a mudança, os valores projetados e os observados, o que permitiria calibrar a confiabilidade

das projeções e avaliar a durabilidade dos ganhos. Recomenda-se também replicar o PILP em empresas de outros segmentos e em situações sem realocização, para delimitar suas condições de aplicabilidade, e investigar sistematicamente o diagrama de espaguete como instrumento de verificação de propostas, em comparação com outros instrumentos de projeto de instalações.

REFERÊNCIAS

- Bitencourt, I. C.; Baldez, K. dos s.; Lopes, D. G.; Pedroso, P. De o.; Peralta, C. B. da L. Proposta de *layout* para uma fábrica de alfajores utilizando o método slp. Revista Produção online, Florianópolis, v. 24, n. 1, e-5131, 2024. Doi: 10.14488/1676-1901.v24i1.5131.
- Campos, Vicente Falconi. TQC: controle da qualidade total no estilo japonês. 8. Ed. Nova lima: Indg Tecnologia e Serviços, 2004. 256 p.
- Corrêa, Henrique Luiz; Corrêa, Carlos Alberto. Administração de produção e operações: manufatura e serviços, uma abordagem estratégica. 5. Ed. São Paulo: Gen Atlas, 2022. 504 p.
- Coughlan, Paul; Coghlan, David. Action research for operations management. International Journal of Operations & Production Management, v. 22, n. 2, p. 220-240, 2002.
- Gil, Antonio Carlos. Métodos e técnicas de pesquisa social. 6. Ed. São Paulo: Atlas, 2008. 200 p.
- Hirano, Hiroyuki. 5s na prática. São Paulo: Imam, 1994. 88 p.
- Imai, Masaaki. Gemba kaizen: uma abordagem de bom senso à estratégia de melhoria contínua. 2. Ed. Porto alegre: Bookman, 2014.
- Liker, Jeffrey K. O modelo Toyota: 14 princípios de gestão do maior fabricante do mundo. Porto alegre: bookman, 2005. 316 p.
- Muther, Richard. Planejamento do *layout*: Sistema slp. São Paulo: Edgard Blücher, 1978. 191 p.
- Ohno, Taiichi. O sistema Toyota de produção: além da produção em larga escala. Porto alegre: Bookman, 1997. 149 p.
- Rother, Mike; Shook, John. Aprendendo a enxergar: mapeando o fluxo de valor para agregar valor e eliminar o desperdício. São Paulo: Lean Institute Brasil, 2003. 102 p.

Serviço brasileiro de apoio às micro e pequenas empresas. Sebrae Tec: serviços tecnológicos para inovação. Brasília, df: Sebrae, 2024. Disponível em: <https://sebrae.com.br>. Acesso em: 28 jul. 2026.

Shingo, Shigeo. O sistema Toyota de produção do ponto de vista da engenharia de produção. 2. Ed. Porto alegre: Bookman, 1996. 291 p.

Slack, Nigel; Brandon-Jones, Alistair; Johnston, Robert. Administração da produção. 8. Ed. São Paulo: Atlas, 2018. 764 p.

Thiollent, Michel. Metodologia da pesquisa-ação. 18. Ed. São Paulo: Cortez, 2011. 136 p.

Tompkins, James a.; white, John A.; Bozer, Yavuz A.; Tanchoco, j. M. A. *Facilities planning*. 4. Ed. Hoboken: John Wiley & Sons, 2010. 864 p.

Womack, James P; Jones, Daniel T. A mentalidade enxuta nas empresas: elimine o desperdício e crie riqueza. Rio de Janeiro: Elsevier, 2004. 408 p.

Yin, Robert K. Estudo de caso: planejamento e métodos. 5. Ed. Porto alegre: Bookman, 2015. 290 p.