

CAPÍTULO 11

TOTAL COST OF OWNERSHIP: MAXIMIZANDO A PERFORMANCE DA GESTÃO DE SUPRIMENTOS POR MEIO DE UMA PERSPECTIVA ESTRATÉGICA NÃO-LINEAR



<https://doi.org/10.22533/at.ed.4181125060311>

Data de aceite: 10/04/2025

Márcio da Cunha Marins

Marta Simone Vieira Neumann Ayres

Charles Contini

PALAVRAS-CHAVE: Gestão de Suprimentos; Custo Total de Propriedade; Gestão da Cadeia de Suprimentos; Análise Comparativa.

RESUMO: O presente artigo apresenta como uma análise fundamentada nas premissas do TCO pode proporcionar uma visão mais holística quanto à maximização de performance nas ações relativas às estratégias de suprimentos. Para tal, esta pesquisa se apoiou em um estudo de caso prático que consistiu em realizar uma análise comparativa empregando os princípios da modelagem de TCO para avaliar a viabilidade de um projeto para otimização do custo da energia elétrica. Entre os principais resultados, pôde-se constatar que o alcance das contribuições do TCO ultrapassou os limites da visão de curto prazo ao sugerir panoramas avaliativos mais amplos a respeito dos aspectos estratégicos, financeiros e operacionais envolvidos nas decisões de investimentos em projetos logísticos de longo prazo – o que pode ser constatado por meio da visão não linear proporcionada pelas ópticas quantitativa e qualitativa do TCO que fornecem a possibilidade de escolha por alternativas de projetos logísticos plenamente viáveis.

*TOTAL COST OF OWNERSHIP:
MAXIMIZING SOURCING
MANAGEMENT PERFORMANCE
THROUGH A NON-LINEAR
STRATEGIC PERSPECTIVE*

ABSTRACT: This article presents how a TCO based analysis can provide more holistic perceptions about a performance maximization in actions related to supply strategies. To achieve this goal, this research was based on a case study that consisted of performing a comparative analysis using the principles of TCO modeling to evaluate the viability and cost optimization of an energy supply project. Among the main results, it was found that the TCO modeling contributions surpassed the limits of the short-term perception proposing evaluative panoramas about strategic, financial and operational aspects involved in investment decisions in long-term logistics projects – which can be noticed through the non-linear sight provided by the quantitative and qualitative perspectives of TCO that provide the possibility of choosing alternatives for fully viable logistics projects.

KEYWORDS: Sourcing Management; Total Cost of Ownership; Supply Chain Management; Comparative Analyzes.

INTRODUÇÃO

Para Bowesox *et al.* (2014), a Gestão da Cadeia de Suprimentos (também traduzida como *Supply Chain Management* – SCM) reflete o arranjo geral que, de modo lógico e logístico, conecta uma empresa a uma extensa rede de operações colaborativas que busca, por meio de elevados índices de eficiência e altos níveis de serviço, entregar maior valor aos clientes. Contudo, Simchi-Levi, Kaminsky e Simchi-Levi (2010) destacam o quanto é desafiador projetar e pôr em operação estratégias de suprimentos de forma a manter elevados níveis de serviço ao mesmo tempo que minimiza os custos totais do sistema, denotando a complexidade para identificar o ponto de equilíbrio entre maximizar os lucros da companhia e otimizar os custos que contribuem para construir e manter um portfólio globalmente competitivo.

Mankiw (2020) explica que, neste contexto, manter elevados níveis de serviço afeta diretamente a curva de custos em diferentes horizontes de tempo, ainda que este efeito seja percebido em maior escala quando as empresas promovem mudanças para ampliar a capacidade de resposta da cadeia de suprimentos. Conforme explica o autor, isso ocorre porque a expansão das atividades de uma organização resulta na elevação natural dos seus custos totais, haja vista que determinados parâmetros de expansão do negócio exigem um consumo de mais insumos variáveis no longo prazo para atender os volumes de produção e, ainda, manter os índices de serviço desejados.

Na perspectiva de Wallace e Xia (2014, tradução nossa), o grande desafio está em extraír mais valor da cadeia ao mesmo tempo que se tenta desvincular da procura emergencial e recorrente por custos diretos mais baixos – metodologia que, para os autores, se tornou insuficiente para conter a erosão das margens do negócio. Neste contexto, Jaspersen e Skøtt-Larsen (2005, tradução nossa) citam a análise de *Total Cost of Ownership* (TCO) como uma linha de avaliação que cria métricas quanto à mensuração de elementos que influenciam a tomada de decisão sob o prisma dos custos totais de suprimento, colocando, assim, a performance da SCM em uma perspectiva mais ampla.

Para Corrêa (2019), a abordagem de TCO, por sua premissa de avaliar o conjunto que forma os custos totais, deveria estar no centro das tomadas de decisão do espectro da cadeia de suprimentos, já que nela prevalece a visão quanto ao desempenho de elementos produtivos e fontes de fornecimento, permitindo sejam exploradas a sensibilidade das decisões tomadas frente a incertezas ou as recomendações do próprio sistema de suprimentos. Esta visão menos linear é proposta por Wallace e Xia (2014, tradução nossa) como uma estratégia transformacional mais voltada à maximização da performance, considerando a dinâmica de toda a rede de suprimentos, suas ligações, riscos atribuídos e seus impactos no processo decisório relativos aos investimentos voltados à geração de eficiência e efetividade no médio e no longo prazo.

A partir desse contexto, o presente artigo propõe avaliar de que forma a análise fundamentada nas premissas do TCO pode proporcionar uma visão mais holística quanto à maximização de performance nas ações relativas às estratégias de suprimentos. Para tal avaliação, analisa-se um estudo de caso prático realizado em uma empresa de médio porte, do segmento metalmecânico, situada na região da serra do Rio Grande do Sul.

Após a introdução, o artigo está estruturado da seguinte forma: na seção 1, são apresentados os referenciais teóricos para fundamentar o projeto; na seção 2, apresenta-se a metodologia que guiou a condução do estudo; na seção 3, são apresentados os resultados e as discussões do estudo de caso; e na seção 4 são colocadas as considerações finais do presente estudo.

TOTAL COST OF OWNERSHIP (TCO)

Segundo Bowesox *et al.* (2014), a área de Suprimentos carrega a responsabilidade pela obtenção dos insumos necessários para apoiar as operações ao mesmo tempo que precisa manter um foco multidimensional. Embora seja fundamental manter a rede de fornecimento em plena operação, essa multidimensionalidade requer a execução de estratégias de compras que exijam uma atenta consideração dos *trade-offs* entre o preço de aquisição e elementos essenciais para o sucesso da Cadeia de Suprimentos, tais como: o impacto na qualidade, o desenvolvimento de fornecedores com competências logísticas e a influência dos custos de um determinado componente ou matéria-prima ao longo do ciclo de vida de um produto.

Na visão de Campos (2015), isso requer um gerenciamento de insumos alinhado às necessidades e ao posicionamento do negócio, exigindo que a função de suprimentos se redirecione para além de suas usuais atividades operacionais. Para o autor, o redirecionamento dos esforços do setor de suprimentos para projetos com resultados escaláveis no longo prazo é determinante para o sucesso de alguns modelos de negócios, sobretudo daqueles que têm sua cadeia de suprimentos altamente sensível às variações macroambientais.

Pires (2016) explica que a grande volatilidade do mercado pressionou empresas diante da necessidade de entregar elevados graus de responsividade da rede logística. Porém, esse não foi o único efeito das pressões macroambientais. Neste contexto, o perfil da gestão de suprimentos foi expandindo naturalmente a patamares mais abrangentes ao colocar em sua atividade central a compreensão da conversão de custos fixos em variáveis e entendimento do fluxo de fornecimento dos insumos que impactam nos níveis de serviço.

Bowesox *et al.* (2014), destacam, no entanto, que a elaboração de uma estratégia de suprimentos com esta proposta é um processo complexo, justamente por requerer uma análise considerável dos *trade-offs* que fazem parte do ciclo de vida do próprio insumo adquirido. Ainda que a prática tradicional de compras possa menosprezá-los em prol do menor valor monetário, a identificação dos elementos desanexados do preço de aquisição pode proporcionar uma visão mais integrada sobre os diversos projetos que objetivam a manutenção dos níveis de serviço na cadeia de suprimentos.

Simchi-Levi, Kaminsky e Simchi-Levi (2010) destacam que manter uma operação com elevados níveis de serviço, ao mesmo tempo que minimiza os custos totais do sistema, é algo desafiador. Todavia, Batista (2013) alerta que um corte desmedido de custos pode representar um movimento inconsequente de fragilização da estrutura de responsividade. Dessa forma, ele propõe que relação “custo vs. benefício” seja aferida através de uma análise baseada nos custos totais. Esta mudança de análise permite que se criem parâmetros para a visualização do ciclo de vida dos custos em relação à produtividade, o que aumenta a percepção de que um custo gerado pode ser o ponto crucial se comparado com os prejuízos oriundos da interrupção de atividades essenciais.

Pires (2016) assume que uma abordagem sistêmica, dentro da SCM, deveria ser vista como uma filosofia gerencial e não como um conjunto de partes fragmentadas com funções e custos não integrados. Neste sentido, Bruni (2018) propõe o Custo Total de Propriedade (*Total Cost of Ownership – TCO*) como abordagem que busca examinar cuidadosamente o dimensionamento dos impactos incorridos ao longo do ciclo de vida de um ativo ou material, englobando, além do custo de aquisição, custos de operação, suporte, customização, entre outros aspectos que impactam em um projeto de suprimentos.

Batista (2013) explica que o conceito de TCO foi desenvolvido pela empresa de consultoria Gartner Group em 1987 como uma modelagem de análise que contempla todos os custos envolvidos ao longo da vida útil de um determinado ativo ou insumo, desde a sua aquisição até a sua degradação e sucateamento. Devido a isso, Bowesox *et al.* (2014) ratificam que a modelagem de TCO entra em contraste com a estratégia tradicional de compras, baseada unicamente na precificação. Os autores sustentam que o preço continua sendo um parâmetro importante para o processo de suprimentos, embora ele seja apenas uma parte do custo total, como mostra a Figura 1. Os custos que fazem parte do ciclo de vida do ativo ou insumo não devem ser ignorados.

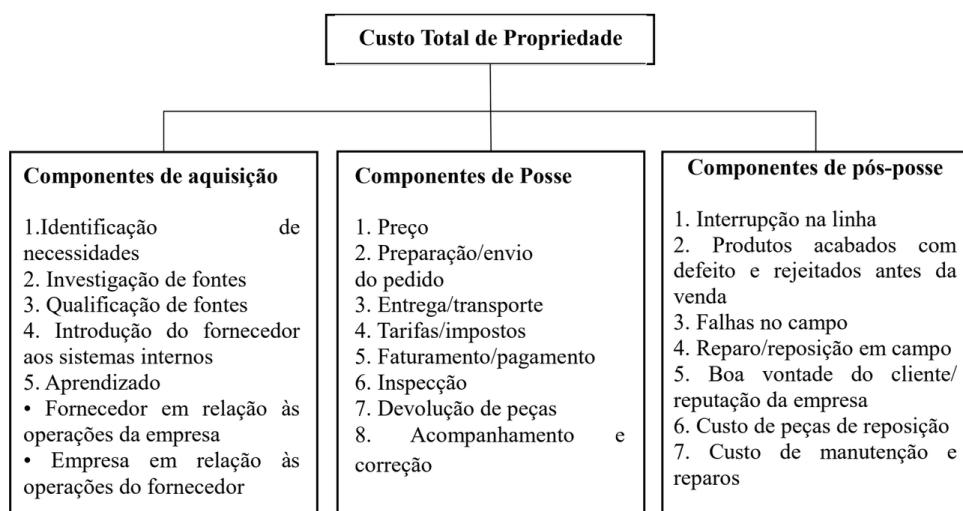


Figura 1. Principais Categorias dos Componentes do Custo Total de Propriedade.

Fonte: Bowesox *et al.* (2014).

Por se tratar de um custo incorrido ao longo da vida útil de um ativo ou insumo, Rocha e Borinelli (2024) afirmam que o custo do ciclo de vida que representa o TCO deve contemplar os custos envolvidos no ciclo de vida real do item que está sendo adquirido até que ele perca sua utilidade ou que se desgaste totalmente (Figura 2). Do ponto de vista dos requisitantes, há categorias de custos que estão presentes mesmo depois da aquisição do insumo, sendo necessário identificá-los para minimizar as diferenças temporais dos efeitos financeiros que impactarão no futuro.

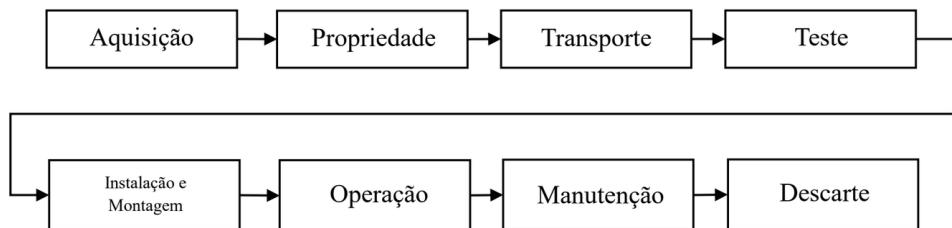


Figura 2 – Vida útil de um produto ou ativo.

Fonte: Rocha e Borinelli (2024).

De acordo com Cokins (2002, tradução nossa), o TCO deu às organizações um vislumbre de como a reengenharia interna, quando combinada a investimentos tecnológicos, afetam os custos de diversas partes da cadeia de suprimentos. A explicação está no princípio de criar visibilidade e transparência a uma série de custos relevantes, sob pena de a companhia perder oportunidades de suprimento que tragam melhores potenciais de lucratividade. Nesta linha, Mitsutani (2017) compara o TCO à figura de um iceberg em que uma série de custos relevantes ficam nas profundezas, abaixo do que é visível na superfície. O autor esclarece que, em um processo de suprimentos tradicional, estes custos associados que ficam ocultos correm o risco de não serem observados.

Nesta concepção, Buchanan (2008, tradução nossa) destaca que a base do custo total de propriedade está no entendimento dos custos associados, reconhecendo que o valor de aquisição é apenas uma pequena parte de todos os custos envolvidos. Por este motivo, Corrêa (2019) defende que um modelo de análise integrada, como é o TCO, valores indiretos jamais são negligenciados, posto seu impacto ao longo do período de vida econômica do item adquirido. Para Ballou (2006), negligenciar os custos associados pode resultar em uma ineficiência bem maior que os ganhos obtidos pela eficiência direta obtido pelo corte de diversos custos ao longo da cadeia logística.

Dennis e Fitzgerald (2010) sustentam que, em diversos segmentos, projetos de suprimentos modelados no TCO apresentam resultados mais altos que os custos diretos envolvidos no processo de aquisição. Contudo, para que se possa decidir por projetos com resultados assertivamente positivos, as métricas adotadas devem se basear na suposição de que haverá desperdícios de recursos e perdas de performance que jamais deveriam ser

omitidos. Jaspersen e Skøtt-Larsen (2005, tradução nossa) reforçam esta ideia ao afirmarem que muitas empresas preferem se concentrar em métodos que examinam somente os custos diretos em determinada avaliação de investimento, fazendo com que elas desenvolvam uma percepção equivocada quanto aos *savings* conectados à cadeia de suprimentos.

Embora muitas destas considerações logísticas recebam pouca atenção quando o objetivo é, unicamente, alcançar o menor preço, Bowesox *et al.* (2014) afirmam que estes custos são reconhecidamente importantes para modelagens baseadas no TCO. Isso porque não se trata apenas da otimização dos custos diretos em projetos de suprimentos, mas, também, da eliminação de atividades redundantes em arranjos logísticos. Esta visão orientada à integração operacional rompe com a busca desmedida por projetos de menor especificação e redireciona a gestão de suprimentos para a promoção de esforços sofisticados voltados à identificação do menor TCO.

Conforme Batista (2013), a redução de TCO envolve a resolução dos desequilíbrios existentes entre parâmetros intimamente ligados ao corte de gastos e à maximização de recursos. Devido a isso, recomenda-se que haja um cuidado para não confundir a busca pelo menor TCO com a eliminação de custos que comprometam o desempenho de atividades essenciais. Kaplan e Cooper (1998, tradução nossa) alertam que o simples corte de custos pode fazer com que se deixe de observar opções que melhor entregam um conjunto sistemático de elementos que formam o custo total da aquisição, prejudicando a avaliação do TCO.

Iniciativas para diminuir os custos variáveis, frente ao aumento dos volumes de produção, são elencados por Jaspersen e Skøtt-Larsen (2005, tradução nossa) como fatores determinantes em um projeto de TCO, visto que trazem mais do que usuais reduções de custo. Ao contribuírem para evitar o impacto de eventuais movimentos inflacionários, este tipo de projeto relaciona elementos que oportunizam um equilíbrio entre melhorias de performance operacional e os objetivos de otimização dos recursos que devem ser atingidos pela cadeia de suprimentos.

Porém, Mitsutani (2017) aponta que uma análise baseada nas premissas do TCO deve ser feita a cada caso, pois ela depende das características específicas de cada sistema de suprimentos avaliado. Dadas as especificidades, é muito difícil que uma avaliação de TCO tenha, exatamente, os mesmos mecanismos comparativos ou critérios de escolha. Esta característica pode prover uma visão econômica em diferentes dimensões e, portanto, não deve ser utilizada isoladamente na tomada de decisão.

Batista (2013) vai ao encontro do que afirma o autor quando sustenta que os custos apresentados podem variar de acordo com o tipo de insumo ou ativo analisado. Ele ratifica que há diversas metodologias de cálculo de TCO e, assim sendo, deve-se evitar visões simplistas em estratégias complexas de maximização de suprimentos. Falvo e Ruvio (2021, tradução nossa) justificam que os projetos podem adotar diferentes parâmetros de custos, tempo e lugar quando se aplica o TCO, por mais parecidos que sejam. Mesmo comparando insumos idênticos, um projeto de suprimento pode precisar de mais tempo de investigação e ter outros custos associados, dependendo do tipo de indústria para o qual está sendo direcionado.

Por esse motivo, Bowesox *et al.* (2014) recomendam que ações baseadas no TCO sigam os princípios da Engenharia de Valor que, segundo eles, envolve uma análise minuciosa das necessidades de suprimento desde as etapas iniciais do projeto. Dessa forma, na medida em que um projeto de suprimentos avança, o mapeamento de todas as etapas possibilita que alterações ou mudanças de rota sejam facilmente acomodadas, propiciando, com poucos dispêndios, garantir o equilíbrio entre o menor custo total e a qualidade das operações.

Magalhães e Pinheiro (2007) apoiam esta medida, justamente por entenderem que tal mapeamento funciona como uma forma identificar os impactos dos custos totais dentro de um conjunto de objetivos operacionais, evitando que despesas não visíveis apenas sejam transferidas de uma atividade para outra dentro do processo. Todavia, Weil e Mahler (2005, tradução nossa) ratificam que os custos relacionados a atividades associadas que refletem o desempenho da cadeia não dependem apenas dos parâmetros do projeto, mas, também, da escolha de fornecedores qualificados à altura da performance planejada. Para os autores, os fornecedores têm um papel fundamental na cadeia de suprimentos a ponto de impactar positivamente os clientes que estão na ponta, seja por possibilitar a prática de preços mais competitivos ou de viabilizar maior eficiência nos índices de responsividade.

Mesmo entendendo o TCO como um modelo baseado em uma perspectiva integrada de custos, Moura (2006) sustenta que a performance esperada na cadeia de suprimento está diretamente ligada às atividades que fazem parte do ciclo de vida do insumo ou ativo. Soula (2012), no entanto, destaca que a gestão dos custos totais também deve incluir estratégias para mitigação de riscos que possam prejudicar resultados sistemáticos de um projeto. Tendo em vista que a operação fica exposta ao custo total de propriedade, prever os riscos oriundos de um projeto de suprimentos eleva os níveis de confiabilidade no processo decisório, viabilizando um julgamento assertivo quanto ao valor agregado que uma opção de suprimento pode representar no desempenho operacional e financeiro.

Nesta busca por ganhos de custo real em toda a cadeia, Weetmann (2019, tradução nossa) ratifica que movimentos de deslocamento para modelos de desempenho com maior valor monetário também podem dissuadir os compradores a substituir ativos mais antigos por versões mais eficientes, desde que a sua eficiência ao longo do tempo possa ser comprovada. Dessa forma, por mais que Nieminen (2025, tradução nossa) reconheça que as técnicas aplicadas a partir dos princípios do TCO trazem diversos benefícios para o contexto da estrutura de custos, ele também defende que tal metodologia precisa estar alinhada às estratégias corporativas, à situação financeira e com os demais direcionamentos que impactam no cliente final.

Li (2007), dentro deste conceito, afirma que projetos de custo total precisam ter indicadores de performance bem definidos e em consonância dos objetivos corporativos determinados pela organização. Em geral, as métricas de suprimentos ligadas ao TCO precisam mostrar os ganhos de performance e benefícios em escala para a cadeia. Isso não apenas contribui para firmar metas, prazos e propostas de melhorias, como, também, segundo Nieminen (2025, tradução nossa), ajuda a minimizar possíveis restrições à sua implementação, mesmo apresentando as melhores soluções operacionais e os melhores *savings*.

Na visão de Roberts e Trent (2010, tradução nossa), a não linearidade da metodologia de TCO faz com que ela seja um tópico que as companhias simplesmente não devem ignorar quando se trata da busca por novas fontes de suprimento. Isso porque sua aplicação pode se dar tanto no mercado doméstico quanto nas estratégias de *global sourcing*, haja vista suas premissas que direcionam o setor de suprimentos a enxergar os elementos associados que incluem custos esperados e não esperados. Como ratificam os autores, as informações estão presentes nas diversas variáveis do projeto. Porém, o desafio está em consolidá-las de forma a promover uma avaliação assertiva em termos de desempenho financeiro e operacional.

PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O presente artigo trata de um estudo de caso prático, de caráter exploratório-descritivo, com pesquisa mista (quali-quantitativo), com levantamento de dados documentais. Este estudo, com as técnicas e características acima descritas, foi realizado em uma empresa de médio porte, do segmento metalmecânico, situada na região da serra do Rio Grande do Sul e teve como objetivo avaliar as perspectivas proporcionadas pela modelagem de TCO quando aplicadas em projetos de suprimentos.

Assim, tal modelagem foi empregada em um estudo de otimização no suprimento de energia no qual foi analisado Ambiente de Contratação Regulada (ACR) – atual modelo de contratação do referido insumo – e o potencial grau de substituição para o Ambiente de Contratação Livre (ACL¹) ou para a geração distribuída através de um sistema fotovoltaico.

A proposta central de tal estudo é verificar qual dos cenários gera maior vantagem competitiva para a companhia, no qual serão considerados, para efeitos comparativos, todos os elementos envolvidos na substituição de um segmento de contratação por outro, seguindo as premissas centrais do TCO. Neste sentido, apesar de que os métodos adotados para atender aos propósitos do presente artigo estejam presentes em diversas bibliografias e ao alcance comum da comunidade acadêmica, a identidade da companhia objeto do estudo e de seus fornecedores será mantida em caráter de sigilo, a fim de preservar seus diferenciais estratégicos.

A escolha da empresa e do referido insumo como objetos da presente pesquisa deu-se por conta de dois critérios, sendo que o primeiro se refere ao fato de a energia elétrica estar entre os insumos com maior impacto na Classificação ABC. Conforme Berman (2001), as atividades industriais relacionadas ao setor metalmecânico consomem grandes quantidades de energia para cada unidade por elas produzidas. Partindo do princípio de que o trabalho é derivado do fluxo de energia empregado à produção de bens e serviços, a sua eficiência está associada ao aumento da produtividade e à sua conservação em bases sustentáveis e não pela simples redução do consumo.

1. O Ambiente de Contratação Livre (ACL) é o segmento do mercado no qual se realizam as operações de compra e venda de energia elétrica, objetos de contratos bilaterais livremente negociados, conforme regras e procedimentos de comercialização específicos.

Indo ao encontro do que sustenta o referido autor, a energia elétrica, neste caso, representa 9,5% entre os itens de Classe A², além de ser o insumo com a terceira maior participação na classificação ABC. Trata-se de um montante anual de R\$ 366.826,99, ficando atrás apenas de dois insumos diretos de fabricação. Nesta linha, é preciso enfatizar que o presente estudo usa a base de dados do ano de 2023, como referência para apuração do consumo que deverá ser comparado nas seções à frente.

O segundo critério está ligado ao grau criticidade do referido insumo para os índices de responsividade das operações logísticas diante de movimentações inesperadas no mercado. Em contextos de aumento repentino de demanda, os preços praticados aos clientes ficarão pressionados pelo incremento no consumo de energia, deteriorando a lucratividade da companhia e sacrificando as economias em escala.

Vasconcellos (2019) afirma que o esgotamento da capacidade de resposta das operações incorrerá na elevação dos custos totais mediante a decisão de não realizar investimentos em ampliação de estrutura física – como é o caso da companhia objeto do estudo –, fazendo com que a empresa tenha que arcar com custos excessivos para manter seu nível de serviço. Kon (2017) coloca a energia como um fator crítico de sucesso para o negócio, justamente porque a interrupção do seu fornecimento pesa consideravelmente na estrutura de custos das empresas, onerando substancialmente os custos de produção e dificultando o abastecimento de seus respectivos mercados-alvo.

Para efeitos comparativos, o estudo de viabilidade de migração para os demais ambientes de contratação será baseado em um horizonte de oito anos, sendo o ano de 2025 a referência para a implementação do projeto. Esta decisão deu-se por conta de os investimentos avaliados estarem sendo em ativos imobilizados de longo prazo e valores de mercado substancialmente significativos.

No que se refere às projeções de cenários, os números relativos ao consumo de energia e demais custos envolvidos que sofrem as variações do ambiente macroeconômico terão seu montante ajustado pelo Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo (IPCA), no mesmo horizonte de avaliação. O objetivo é equalizar os custos no ambiente atual em comparação aos investimentos voltados à migração para outras fontes de fornecimento. O índice em questão foi adotado para esta anualização porque, segundo Brito (2016), ele é o indicador oficial escolhido pelo Conselho Monetário Nacional (CMN) para medir a inflação de uma série de produtos e serviços comercializados no varejo, bem como é referência para o Sistema de Metas para a Inflação.

Baseado no Relatório Focus³, que apresenta as projeções para a inflação para cinco anos, o Quadro 1 traz a perspectiva de que a companhia terá um impacto superior a R\$ 2 milhões em custos com energia elétrica entre 2023 e 2027.

2. Classe A é formada por nove SKUs que representam 79,1% dos gastos totais com materiais produtivos.

3. Disponível em: <https://www.bcb.gov.br/publicacoes/focus>. Acesso em: 05/01/2025.

Ano	IPCA/Focus	Custo anual com energia (ACR)
2023	Base	R\$ 366.826,99
2024	4,90%	R\$ 384.801,51
2025	4,96%	R\$ 403.887,67
2026	4,01%	R\$ 420.083,56
2027	3,83%	R\$ 436.172,76
Total		R\$ 2.011.772,49

Quadro 1. Projeção dos gastos com energia elétrica entre 2023 e 2027.

Nota: desenvolvido pelos autores.

Tendo em vista que o ACR possui um ciclo contratual anual que inicia no mês de março de cada ano, ficou estabelecido que o mês de abril de 2025 será o ponto de corte para a implementação do projeto, evitando, assim, que a companhia arque com o pagamento da multa rescisória contratual. Levando em consideração que o Relatório Focus não fornece perspectivas quanto à inflação para todo horizonte de avaliação do investimento, optou-se por duas ações.

A primeira consistiu na apuração do comportamento médio da inflação. Ao aplicar a técnica de remuneração de juros compostos nos montantes de 2023 a 2027, usando o total do período como valor futuro, obteve-se uma taxa média de 4,62% ao ano⁴. O Quadro 2 apresenta a prova real de tal apuração de forma que possa ser usada como referência para a projeção dos gastos com energia dentro do horizonte de avaliação do investimento.

Ano	IPCA médio	Custo anual com energia (ACR)
2023	Base	R\$ 366.826,99
2024	4,62%	R\$ 383.788,20
2025	4,62%	R\$ 401.533,66
2026	4,62%	R\$ 420.099,62
2027	4,62%	R\$ 439.524,03
Total		R\$ 2.011.772,49

Quadro 2. Prova real do comportamento do IPCA sobre os gastos com energia: 2023 e 2027.

Nota: desenvolvido pelos autores.

A segunda ação consistiu em aplicar o IPCA médio de forma a projetar a curva de gastos com energia elétrica no horizonte de avaliação do investimento. Como o ano de 2025 será usado como referência para implementação do projeto, este será adotado como nova base de cálculo, tendo o IPCA médio como referência para a anualização dos montantes com energia nos oito anos seguintes (Quadro 3). Vale ressaltar que, embora o montante projetado para o ACR possa ser apurado pelo regime de juros compostos, empregando o método de compensação por Valor Futuro (VF), faz-se necessário o desdobramento anual do custo no ACR, posto que ele será essencial para calcular a taxa de degradação do sistema fotovoltaico na subseção 4.2.

4. A taxa média é de 4,623763% e seu valor foi utilizado nas simulações, sem arredondamento.

Ano	IPCA médio	Custo anual com energia (ACR)
2025	Base	R\$ 401.533,66
2026	4,62%	R\$ 420.099,62
2027	4,62%	R\$ 439.524,03
2028	4,62%	R\$ 459.846,58
2029	4,62%	R\$ 481.108,80
2030	4,62%	R\$ 503.354,13
2031	4,62%	R\$ 526.628,03
2032	4,62%	R\$ 550.978,06
2033	4,62%	R\$ 576.453,98
Total		R\$ 4.359.526,88

Quadro 3. Projeção dos custos anuais com energia elétrica no ACR entre 2025 e 2033.

Nota: desenvolvido pelos autores.

Os contratos estabelecidos no Ambiente de Contratação Livre (ACL) são determinados pelas concessionárias conforme a demanda da empresa cliente. De acordo com dados documentais, a companhia objeto do estudo possui um consumo médio mensal de 68,736 MW/h, sendo: 2,104 MW/h referentes ao consumo de ponta; 64,638 MW/h referentes ao consumo de energia fora de ponta; e, 1,994 MW/h relativo ao impacto de 3% correspondente às Perdas Não Técnicas Regulatórias (PNT) no mesmo período.

Segundo a Cartilha Energia, publicada pelo Ministério da Economia em 2016, o posto tarifário de ponta é o período composto por 3 horas diárias consecutivas definidas pela distribuidora, exceto sábados, domingos e feriados nacionais. Já o posto tarifário fora de ponta corresponde ao conjunto das horas consecutivas complementares àquelas que fazem parte do consumo de ponta – ou seja, contempla as demais 21 horas do dia.

Compreender os desdobramentos da composição do consumo e os conceitos a respeito dos postos tarifários é fundamental para entender a formação do custo comparativo, uma vez que o ACL faz uso da estrutura de distribuição da concessionária local que, por sua vez, possui tarifas pré-estabelecidas sobre a demanda e a Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição (TUSD), como mostra o Quadro 4. É importante salientar que a empresa objeto do estudo se enquadra no grupamento A4, formado por unidades consumidoras com fornecimento em tensão igual ou superior a 2,5kV até 25kW.

Subgrupo	TUSD kW (aplicado sobre a demanda fora da ponta)	TUSD kW - 50% (incentivo por uso de fontes renováveis)	TUSD na Ponta	TUSD Fora da Ponta	Encargos de Conexão
A4 (2,3 a 25kW)	R\$ 25,18	R\$ 12,59	R\$ 1.321,79	R\$ 106,84	R\$ 500,00

Quadro 4. Tarifas de uso que compõem o custo da energia elétrica no ACL em 2023.

Nota: desenvolvido pelos autores.

Posto que os valores estão sujeitos aos reajustes advindos das variações do mercado, o IPCA médio apurado também foi aplicado aqui como referência para a anualização dos montantes as tarifas de uso, viabilizando uma forma de estabelecer um comparativo entre os ambientes de energia. Empregando o método de capitalização por VF, fez-se a projeção dos dispêndios até o ano de 2033 (Quadro 5).

Descrição da tarifa	Custo	Unidade	Total
Encargo de conexão	R\$ 500,00	1,000	R\$ 500,00
Demanda fora da ponta (kW)	R\$ 12,59	500,000	R\$ 6.295,00
TUSD Ponta (MWh)	R\$ 1.321,79	2,104	R\$ 2.781,05
TUSD Fora Ponta (MWh)	R\$ 106,84	64,638	R\$ 6.905,92
Dispêndio mensal usando os parâmetros de 2023			R\$ 16.481,97
Dispêndio anual usando os parâmetros de 2023			R\$ 197.783,64
Estimativa para 2024 aplicando o IPCA médio de 4,62%			R\$ 206.928,69
Estimativa para 2025 aplicando o IPCA médio de 4,62%			R\$ 216.496,58
Estimativa para 2026 aplicando o IPCA médio de 4,62%			R\$ 226.506,87
Estimativa para 2027 aplicando o IPCA médio de 4,62%			R\$ 236.980,01
Estimativa para 2028 aplicando o IPCA médio de 4,62%			R\$ 247.937,40
Estimativa para 2029 aplicando o IPCA médio de 4,62%			R\$ 259.401,44
Estimativa para 2030 aplicando o IPCA médio de 4,62%			R\$ 271.395,55
Estimativa para 2031 aplicando o IPCA médio de 4,62%			R\$ 283.944,24
Estimativa para 2032 aplicando o IPCA médio de 4,62%			R\$ 297.073,14
Estimativa para 2033 aplicando o IPCA médio de 4,62%			R\$ 310.809,10
Total (2023-2033)			R\$ 2.755.256,66
Total (2025-2033)			R\$ 2.350.544,34

Quadro 5. Projeção das tarifas de uso da rede no ACL entre 2025 e 2033.

Nota: desenvolvido pelos autores.

O ano de 2025 terá um tratamento diferente na simulação financeira apresentada na subseção 4.1, já que haverá a necessidade de um consumo proporcional no primeiro ano de migração do ACR para o ACL, evitando a multa contratual correspondente à rescisão contratual com a concessionária.

Além do uso do sistema, faz parte da composição do custo outros três dispêndios: uma tarifa de R\$ 7.000,00 referente à adesão na Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE) para ingressar no ACL, paga em parcela única no início do ciclo acordado; um investimento estrutural de R\$ 20.000,00 referente a adequação ao sistema de medição junto a subestação de energia, pago em única parcela; e uma taxa mensal de R\$ 1.500,00 paga a uma empresa terceira com expertise no mercado de energia para realizar a gestão dos contratos junto à CCEE. Esse último valor, equivalente a R\$ 18.000,00 anuais pelos parâmetros de 2023, também teve sua projeção estimada até 2033 pelo IPCA médio, também destacando o ano de 2025, buscando, assim, manter as bases comparativas partir do mesmo indicador (Quadro 6).

Ano	IPCA médio	Custo mensal com a gestão (ACL)	Custo anual com a gestão (ACL)
2023	Base	R\$ 1.500,00	R\$ 18.000,00
2024	4,62%	***	R\$ 18.832,28
2025	4,62%	***	R\$ 19.703,04
2026	4,62%	***	R\$ 20.614,06
2027	4,62%	***	R\$ 21.567,20
2028	4,62%	***	R\$ 22.564,42
2029	4,62%	***	R\$ 23.607,75
2030	4,62%	***	R\$ 24.699,31
2031	4,62%	***	R\$ 25.841,35
2032	4,62%	***	R\$ 27.036,19
2033	4,62%	***	R\$ 28.286,28
Total (2023-2033)			R\$ 250.751,88
Total (2025-2033)			R\$ 213.919,60

Quadro 6. Projeção com custo de gestão estrutural da concessionária no ACL: 2023 - 2033.

Nota: desenvolvido pelos autores.

Sobre as PNTs, vale destacar que, segundo Castro *et al.* (2012), elas representam todas as perdas de energia associadas a fatores não técnicos, como, por exemplo, furtos de energia, erros na apuração dos medidores e/ou ausência de equipamentos de medição. Conforme relatório da Anaeel (2019), o percentual em questão é calculado utilizando uma metodologia da própria da Agência Nacional e que leva em consideração as perdas sobre a receita líquida necessária para cobrir os custos regulatórios das distribuidoras.

Buscando identificar uma referência competitiva de custos para efetivação de um contrato de longo prazo, realizou-se uma concorrência entre duas empresas fornecedoras do ACL (Quadro 7). No presente estudo, as companhias que serão chamadas de Fornecedor 1 e Fornecedor 2, terão seus valores comparados na subseção 4.1 deste artigo. Vale ressaltar que, objetivando efetivar um comparativo justo com os valores praticados no ACR, as cotações em questão já contemplam as projeções de reajustes futuros nos custos, bem como não possuem a incidência de PIS e COFINS.

Da mesma forma, realizou-se uma concorrência entre empresas fornecedoras de tecnologia para geração de energia fotovoltaica e que, neste artigo, serão chamadas de Fornecedor A e Fornecedor B. Suas respectivas cotações, que serão comparadas na subseção 4.2, não estão sujeitas às variações macroeconômicas, tendo em vista que o abastecimento provido pelos equipamentos responsáveis por transformar as partículas de luz solar em energia a ser distribuída para o local de consumo. Por outro lado, como o sistema de distribuição fotovoltaica estará conectado à rede, se caracterizando como um sistema conhecido como *on-grid*, os custos advindos do ACR envolvidos nesta análise continuam sujeitos aos impactos do mercado.

Período	Fornecedor 1	Fornecedor 2
2025	R\$ 263,18	R\$ 263,18
2026	R\$ 196,93	R\$ 196,02
2027	R\$ 174,24	R\$ 170,61
2028	R\$ 162,44	R\$ 163,35
2029	R\$ 157,91	R\$ 156,09
2030	R\$ 149,74	R\$ 149,74
2031	R\$ 147,02	R\$ 146,11
2032	R\$ 143,39	R\$ 144,29
2033	R\$ 140,66	R\$ 144,29

Quadro 7. Cotação dos fornecedores em MWh no ACL para contratos de longo prazo.

Nota: desenvolvido pelos autores.

Tal hibridismo se deu por causa de restrições que inviabilizam tecnicamente a cobertura total do fornecimento pelo sistema fotovoltaico. Para entender as limitações impostas à eficiência do sistema, fez-se o levantamento dos requisitos necessários para atender 100% do suprimento, começando pelo dimensionamento de capacidade, aplicando a equação:

$$kWp = \frac{\text{Consumo Médio Mensal em KWh}}{HSP \times \text{Dias} \times \text{Coeficiente de Eficiência}} \quad (1)$$

A unidade Watt-pico (Wp), conforme explicam Zilles *et. al.* (2012), é a potência energética associada aos módulos (painéis) fotovoltaicos. A equação acima busca converter o consumo para a unidade em kilowatts-pico (kWp) a fim de apurar a máxima potência dos painéis de forma a suprir a demanda da empresa objeto do estudo. Neste sentido, o primeiro passo foi o de converter o consumo mensal para 68.736 kWh, atendendo à unidade de medida requerida pela equação.

As Horas de Sol de Pico (HSP) correspondem à quantidade média de horas que a irradiação solar atinge o pico de 1.000W/m² em determinado local. Para apurar este número, fez-se uma consulta no programa SunData no site do Centro de Referência para Energias Solar e Eólica Sérgio de S. Brito (CRESEB), no qual foram inseridos dados de latitude e longitude, indicando que o HSP é de 4,43 horas na cidade em que a empresa objeto do estudo está localizada.

O coeficiente de eficiência é um percentual médio que representa as perdas de energia dentro do sistema de distribuição. Algumas destas perdas, segundo os próprios fabricantes, podem ocorrer por incompatibilidade elétrica, acúmulo de sujeira, problemas com o inversor ou perdas de temperatura. As empresas fornecedoras, usualmente, trabalham com um coeficiente de 20% para representar estas perdas, por mais que os fabricantes admitam que alguns sistemas podem chegar a 25%.

Ao aplicar a equação, constatou-se que a potência total dos painéis, posto o consumo mensal, precisava ser de 646,5kWp. Tendo em vista que seriam orçadas placas solares com 0,395kW de potência, seriam necessárias 1.637 placas para o atendimento do consumo total – resultado que foi obtido aplicando a equação abaixo – gerando, assim, uma potência disponível de 646,62kW.

$$\text{Quantidade de painéis} = \frac{\text{Potência Total Requisitada (kWp)}}{\text{Potência dos painéis (kW)}} \quad (2)$$

Ao decidir não fazer a aquisição ou a locação de um terreno anexo, a empresa objeto do estudo optou por alocar os painéis no teto do seu prédio principal, espaço que comporta apenas 500 placas – o equivalente a 197,5 kW de potência total. Isso significa que o sistema irá gerar potência para atender apenas 30,54% do consumo, sendo o restante da demanda advinda do ACR.

Quanto à definição do inversor, é importante ressaltar que os fornecedores consideram 20% sobre a capacidade bruta do sistema como uma margem segura para que não haja qualquer problema de dimensionamento do equipamento. Visto que a companhia objeto do estudo decidiu manter a capacidade bruta atual de 240kW para a avaliação de investimentos na geração de energia fotovoltaica, os inversores precisavam atender entre 192kW e 288kW. Partindo desta referência, entendeu-se que dois inversores de 110kW, operando juntos, estariam dentro das margens de segurança estabelecidas, servindo, portanto, como referência para a análise dos orçamentos.

Visto que o *saving* objetivo de 10% é uma prática comum para projetos de TCO, decidiu-se manter a mesma meta percentual como indicador de viabilidade do projeto em ambos os comparativos. Esta é uma tomada de decisão decorrente do prazo proposto para análise de retorno do investimento.

ANÁLISE COMPARATIVA

Ambiente de Contratação Regulada vs. Ambiente de Contratação Livre

Uma vez que a análise baseada no TCO parte da premissa de não negligenciar os custos globais envolvidos em uma operação de compra ou contratação, a primeira etapa efetivada antes da realização dos comparativos consistiu no mapeamento dos custos de aquisição e posse envolvidos no ACL.

No que tange os custos de aquisição, os dois fornecedores que participaram da concorrência tiveram suas propostas comerciais comparadas de forma a entender qual deles é o mais competitivo em uma projeção de oito anos. O Quadro 8 mostra que o Fornecedor 2 se apresenta como a melhor alternativa, mesmo que sua vantagem financeira seja inferior a R\$ 1.500,00, quando da análise das projeções totais no período comparado. Vale destacar que às cotações devem ser somados os custos que dizem respeitos aos postos tarifários (energia de ponta, energia fora de ponta e perdas), já que estes fazem parte do custo pelo uso da estrutura de distribuição da concessionária local.

Quanto às adequações estruturais, o investimento de R\$ 20.000,00 mencionado na Seção 4 é necessário para a implementação de recursos tecnológicos que viabilizem contabilização do consumo de forma clara e objetiva, tais como: medidor principal e de retaguarda, Transformadores de Instrumentos (TI), Transformadores de Potencial (TP), Transformadores de Corrente (TC), entre outros sistemas que conectam os dados referentes à medição para faturamento e os fornecedores regulados pela Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE), permitindo que a inspeção seja realizada de forma confiável.

O último custo de aquisição, relativo à Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE), trata-se do valor de R\$ 7.000,00, pago em parcela única, referente a um serviço de adesão fundamental para fazer parte do mercado de comercialização de energia livre. Partido do princípio de que o pagamento é realizado quando o processo é aberto junto à CCEE, e que a desistência não configura em resarcimento do valor investido, pode-se dizer que a interrupção do plano de ação por qualquer inviabilidade técnica ou estratégica implicará, portanto, na reclassificação deste custo de posse para pós-posse.

Demandas (MWh/mês)	2,104	64,638	1,994	Fornecedor 1	
Demandas (MWh/ano)	25,248	775,656	23,928		
Ano	Cotação	Energia Ponta	Energia Fora Ponta	Perdas	Total Anual
2025	R\$ 263,18	R\$ 6.644,64	R\$ 204.133,27	R\$ 6.297,25	R\$ 217.075,16
2026	R\$ 196,93	R\$ 4.972,03	R\$ 152.748,00	R\$ 4.712,08	R\$ 162.432,10
2027	R\$ 174,24	R\$ 4.399,21	R\$ 135.150,30	R\$ 4.169,21	R\$ 143.718,73
2028	R\$ 162,44	R\$ 4.101,35	R\$ 125.999,50	R\$ 3.886,92	R\$ 133.987,77
2029	R\$ 157,91	R\$ 3.986,79	R\$ 122.479,96	R\$ 3.778,35	R\$ 130.245,10
2030	R\$ 149,74	R\$ 3.780,57	R\$ 116.144,79	R\$ 3.582,92	R\$ 123.508,28
2031	R\$ 147,02	R\$ 3.711,83	R\$ 114.033,07	R\$ 3.517,77	R\$ 121.262,68
2032	R\$ 143,39	R\$ 3.620,18	R\$ 111.217,44	R\$ 3.430,92	R\$ 118.268,54
2033	R\$ 140,66	R\$ 3.551,45	R\$ 109.105,71	R\$ 3.365,77	R\$ 116.022,93
Total		R\$ 38.768,05	R\$ 1.191.012,03	R\$ 36.741,20	R\$ 1.266.521,29
Demandas (MWh/mês)	2,104	64,638	1,994	Fornecedor 2	
Demandas (MWh/ano)	25,248	775,656	23,928		
Ano	Cotação	Energia Ponta	Energia Fora Ponta	Perdas	Total Anual
2025	R\$ 263,18	R\$ 6.644,64	R\$ 204.133,27	R\$ 6.297,25	R\$ 217.075,16
2026	R\$ 196,02	R\$ 4.949,11	R\$ 152.044,09	R\$ 4.690,37	R\$ 161.683,57
2027	R\$ 170,61	R\$ 4.307,56	R\$ 132.334,67	R\$ 4.082,36	R\$ 140.724,59
2028	R\$ 163,35	R\$ 4.124,26	R\$ 126.703,41	R\$ 3.908,64	R\$ 134.736,31
2029	R\$ 156,09	R\$ 3.940,96	R\$ 121.072,15	R\$ 3.734,92	R\$ 128.748,03
2030	R\$ 149,74	R\$ 3.780,57	R\$ 116.144,79	R\$ 3.582,92	R\$ 123.508,28
2031	R\$ 146,11	R\$ 3.688,92	R\$ 113.329,16	R\$ 3.496,06	R\$ 120.514,14
2032	R\$ 144,29	R\$ 3.643,10	R\$ 111.921,34	R\$ 3.452,63	R\$ 119.017,07
2033	R\$ 144,29	R\$ 3.643,10	R\$ 111.921,34	R\$ 3.452,63	R\$ 119.017,07
Total		R\$ 38.722,23	R\$ 1.189.604,22	R\$ 36.697,78	R\$ 1.265.024,22

Quadro 8. Comparativo entre os fornecedores do ACL – projeção de custos: de 2025 a 2033.

Nota: desenvolvido pelos autores.

Sobre os custos de posse, os valores correspondentes às tarifas de uso e à gestão da estrutura precisam ser pagos à concessionária, já que os consumidores do ACL, embora adquiram energia diretamente do gerador/comercializador, continuam fazendo uso da estrutura de transmissão de energia presente no ACR.

A última etapa antes do comparativo foi a apuração do custo proporcional do ACL no primeiro ano, já que em 2025 ainda haverá consumo de energia do ACR por um período de 3 meses. Segundo Abraceel (2016), no ACL os consumidores podem escolher livremente seus fornecedores de energia, possuindo o direito de negociar, inclusive, os prazos contratuais. Neste caso, como o ciclo contratual da empresa iniciar no mês de março, o anúncio da rescisão do instrumento jurídico no ACR será realizado em setembro do ano anterior, evitando o pagamento da multa rescisória. Neste sentido, o mês setembro de 2024 ficou estabelecido para o ponto de aviso prévio junto a concessionaria, enquanto o mês de abril de 2025 ficou estabelecido como ponto de corte para a implementação do novo formato de abastecimento.

Portanto, os custos anuais de energia, tarifa de uso e gestão estrutural no ACL foram proporcionalmente calculados para um período de nove meses em 2025, bem como os três meses do ACR incidentes no mesmo ano. A partir de tal apuração, os resultados são somados aos valores projetados para os anos entre 2026 e 2033, assim como aos demais custos de aquisição e posse (Quadro 9).

Composição do custo	Anual	Proporcional
(+) Projeção de energia no ACL - 2025 (9 meses)	R\$ 217.075,16	R\$ 162.806,37
(+) Tarifa de uso projetada no ACL - 2025 (9 meses)	R\$ 216.496,58	R\$ 162.372,43
(+) Gestão estrutural projetada para o ACL - 2025 (9 meses)	R\$ 19.703,04	R\$ 14.777,28
(+) Proporção do ACR - 2025 (3 meses)	R\$ 403.887,67	R\$ 100.971,92
(+) Adequação		R\$ 20.000,00
(+) Adesão CCEE		R\$ 7.000,00
1- Total do ACL em 2025		R\$ 467.928,00
(+) Projeção de Energia (2026-2033)		R\$ 1.047.949,06
(+) Tarifas de uso ACL (2026-2033)		R\$ 2.134.047,76
(+) Gestão Mercado Livre (2026-2033)		R\$ 194.216,57
2 - Total do ACL de 2026 a 2033		R\$ 3.376.213,38
Total do ACL em 2033 (1+2)		R\$ 3.844.141,38
Total do ACR em 2033 (Quadro 4)		R\$ 4.359.526,88
Saving total		R\$ 515.385,50
Impacto		-11,82%
Payback (anos)		7,46

Quadro 9. TCO no ACL – projeção de custos totais entre 2023 e 2033.

Nota: desenvolvido pelos autores.

Comparando os dois ambientes de contratação, constata-se que os desdobramentos de custos apresentados colocam o ACL como uma opção mais competitiva, ainda que sejam necessários investimentos para que seja efetivada a troca de ambiente. Sob a perspectiva financeira, a implementação do ACL resulta em uma redução total de R\$ 515.385,50; um impacto de -11,82%. É possível de constatação que, além de apresentar um resultado acima da meta estabelecida para viabilidade do projeto, o seu *payback* se dá em sete anos e meio – ou seja, antes da finalização do prazo de avaliação pré-determinado.

Fazendo uma análise do comportamento do *saving*, a Figura 3 mostra que as projeções geram impactos favoráveis à implementação do projeto, diferentemente do que ocorre com o primeiro ano do horizonte de investimento. Todavia, isso decorre, justamente, porque 2025 é tido como o período zero (FC0) do fluxo de investimento, período em que os custos proporcionais e demais adequações técnicas para a implementação do ACL superam os valores previstos no ACR.

Salvo o ano de 2025 que possuem custos proporcionais entre o ACR e o ACL, as projeções de custos do ACL para os demais períodos traz o somatório das tarifas do ACL, dos custos com gestão no ACL e da cotação aprovada para o fornecimento de energia.

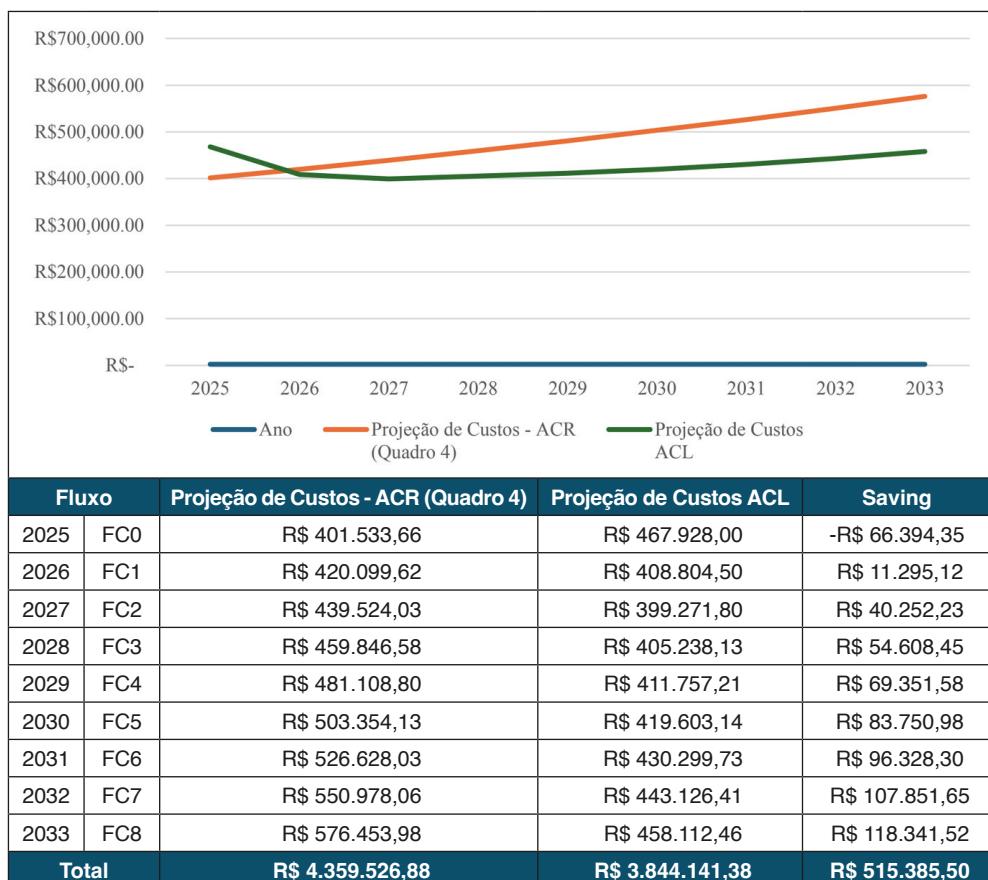


Figura 3. Análise de viabilidade financeira do projeto de migração para o ACL.

Fonte: desenvolvido pelos autores.

Ambiente de Contratação Regulada vs. Geração de Energia Fotovoltaica

Segundo Aneel (2021), geração distribuída é o termo adotado para definir o ambiente em que o consumidor pode gerar energia elétrica a partir de fontes renováveis, podendo, inclusive, fornecer o excedente gerado para a rede de distribuição. Este sistema, também chamado de micro e minigeração distribuídas, é caracterizado pela instalação de geradores de pequeno porte conectados à rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras, promovendo a melhoria do nível de tensão da rede no período de carga pesada, a diversificação da matriz energética e a postergação de investimentos em expansão nos sistemas de distribuição e transmissão.

Considerando sua capacidade instalada de 240kW, a empresa objeto de estudo, que se enquadra na faixa de classificação de minigeração distribuída, estará limitada a tal capacidade bruta para fins de regulação e fiscalização, devendo solicitar aumento de carga, caso deseje que a potência disponibilizada venha a se tornar igual ou superior à capacidade instalada atual da central geradora. Nesta situação, o consumidor precisa analisar sua necessidade de adequação do sistema de distribuição e solicitar o parecer de acesso à distribuidora para que o aumento de potência disponibilizada possa ser atendido.

Dado que os aspectos técnicos e legais da minigeração são de competência do consumidor – bem como a responsabilidade de realizar a análise dos custos e investimentos para adequação do sistema –, é importante destacar que a empresa objeto do estudo optou por trabalhar sua projeção de investimentos mantendo a capacidade bruta atual de 240kW, ainda que os desdobramentos desta decisão impactem diretamente nos aspectos técnicos e financeiros envolvidos na implementação do sistema.

Seguindo nesta linha, fez-se o mapeamento dos investimentos envolvidos na minigeração distribuída, apresentando os itens envolvidos na aquisição do sistema fotovoltaico, tal como foi feito na seção anterior, mantendo-se, portanto, a premissa de não negligenciar os custos globais envolvidos em uma operação de compra ou contratação.

Como forma de entender o cenário mais competitivo para a aquisição dos equipamentos, os fornecedores que participaram da concorrência tiveram suas cotações comparadas. Os valores apresentados no Quadro 10 denotam que o Fornecedor A é a opção mais favorável de investimento, prevendo um contrato em que os valores para a aquisição do sistema *on-grid* foram comparados a partir de requisitos idênticos em termos de marca e especificações técnicas dos painéis, potência dos inversores e tempo de garantia do fabricante, evitando possíveis distorções na análise comparativa.

Descrição	Fornecedor A	Fornecedor B
Equipamentos e instalação dos sistemas para geração de energia.		
Formato do sistema: conectado à rede (<i>on-grid</i>), dispensando o uso de baterias.	R\$ 592.500,00	R\$ 639.900,00
Garantia dos equipamentos: 10 anos.		

Quadro 10. Comparativo de fornecedores no sistema fotovoltaico.

Nota: desenvolvido pelos autores.

Quanto às adequações estruturais, o investimento de R\$ 20.000,00, citado na Seção 4, fecha a relação dos custos de aquisição, tendo em vista que adaptações no sistema de medição são necessárias para viabilizar a contabilização confiável do consumo dentro da modalidade *on-grid*. Este valor é pago em parcela única, não sofrendo impactos mercadológicos da esfera macroambiental.

Sendo um custo de posse, a manutenção preventiva deve ser realizada para garantir a eficiência máxima do sistema. Embora diversos fatores influenciem na necessidade de manutenção e limpeza das placas, recomenda-se que este serviço seja feito anualmente, estando sujeito a alterações de preços, conforme as variações do mercado. Cotado em torno de 0,5% do valor inicial do sistema fotovoltaico, o custo de manutenção projetado é apresentado no Quadro 11 em uma série atualizada a partir das mesmas referências adotadas nas demais apurações, propiciando uma verificação sobre os efeitos das oscilações do ambiente de negócios.

A taxa de degradação é o custo de posse relativo ao declínio de eficiência ao longo do tempo. Estima-se que as placas podem funcionar por 25 anos com eficiência mínima de 80%. Segundo Zilles *et. al.* (2012), a potência da saída dos módulos, em geral, tende a ter uma degradação maior no primeiro ano, em torno de 2,5%, diminuindo a taxas lineares de 0,73% a cada ano posterior.

Ano	IPCA médio	Custo anual com Manutenção
2025	Base	R\$ 2.962,50
2026	4,62%	R\$ 3.099,48
2027	4,62%	R\$ 3.242,79
2028	4,62%	R\$ 3.392,73
2029	4,62%	R\$ 3.549,60
2030	4,62%	R\$ 3.713,73
2031	4,62%	R\$ 3.885,44
2032	4,62%	R\$ 4.065,10
2033	4,62%	R\$ 4.253,06
Total		R\$ 32.164,42

Quadro 11. Dispêndios com a manutenção preventiva do sistema (2025 – 2033).

Nota: desenvolvido pelos autores.

Aplicando estas taxas ao horizonte de investimento, constatou-se que a degradação acumulada chega a 7,61%, impactando em uma perda de 2,32% sobre a eficiência do sistema fotovoltaico. Mesmo assim, o projeto de migração chega a uma redução potencial de R\$ 1.275.795,31 na geração de energia, quando comparado com os custos projetados no Ambiente de Contratação Regulada até 2033 (Quadro 12).

Ano	ACR	Degradação	Eficiência %	Eficiência em R\$
2025	R\$ 401.533,66	100,00%	30,54%	R\$ 122.643,14
2026	R\$ 420.099,62	97,50%	29,78%	R\$ 125.106,03
2027	R\$ 439.524,03	96,77%	29,56%	R\$ 129.910,63
2028	R\$ 459.846,58	96,04%	29,33%	R\$ 134.892,08
2029	R\$ 481.108,80	95,31%	29,11%	R\$ 140.056,44
2030	R\$ 503.354,13	94,58%	28,89%	R\$ 145.410,00
2031	R\$ 526.628,03	93,85%	28,67%	R\$ 150.959,20
2032	R\$ 550.978,06	93,12%	28,44%	R\$ 156.710,68
2033	R\$ 576.453,98	92,39%	28,22%	R\$ 162.671,30
Total (2025-2033)	R\$ 4.359.526,88	7,61%	2,32%	R\$ 1.268.359,49

Quadro 12. Degradação do sistema fotovoltaico (2025 – 2033).

Nota: desenvolvido pelos autores.

Neste comparativo, não foi preciso calcular o custo proporcional de 2025, pois o sistema *on-grid* não incide em encerramento de contrato com a distribuidora. Isso ocorre porque a concessionária permanece sendo responsável pela entrega da energia no período noturno ou quando a insolação for menor (períodos chuvosos, nublados, inverno, etc.). A partir de tal apuração, os resultados são somados aos valores projetados, bem como aos demais custos de aquisição e posse (Quadro 13).

Sistema Fotovoltaico	R\$ 592.500,00
(+) Adequação	R\$ 20.000,00
1 - Total de investimento no sistema	R\$ 612.500,00
Projecção do consumo de energia no ACR (2025 - 2033)	R\$ 4.359.526,88
(-) Eficiência energética - Sistema Fotovoltaico (2025 - 2033)	R\$ 1.268.359,49
2 - Consumo de Energia (2025 - 2033)	R\$ 3.091.167,39
3 - Manutenção do Sistema (2025 - 2033)	R\$ 32.164,42
(1 + 2 + 3) Total do consumo aplicando o sistema fotovoltaico (2025 - 2033)	R\$ 3.735.831,81
Total do ACR em 2033 (Quadro 4)	R\$ 4.359.526,88
Saving	R\$ 623.695,07
Impacto percentual	-14,31%
Payback (anos)	5,99

Quadro 13. TCO do sistema fotovoltaico – projeção de custos entre 2025 e 2033.

Nota: desenvolvido pelos autores.

O comparativo indica que o sistema de geração de energia fotovoltaica também se mostra mais competitivo que o ACR, resultando em um *saving* de R\$ 623.695,07; um impacto de -14,31%. Contudo, ainda que o indicador seja mais atrativo, a principal objeção pela distribuição fotovoltaica pode ser o alto investimento inicial, ainda que, sob perspectiva do TCO, o comportamento das economias (Figura 4) mostre que o *payback* se dará em seis anos.

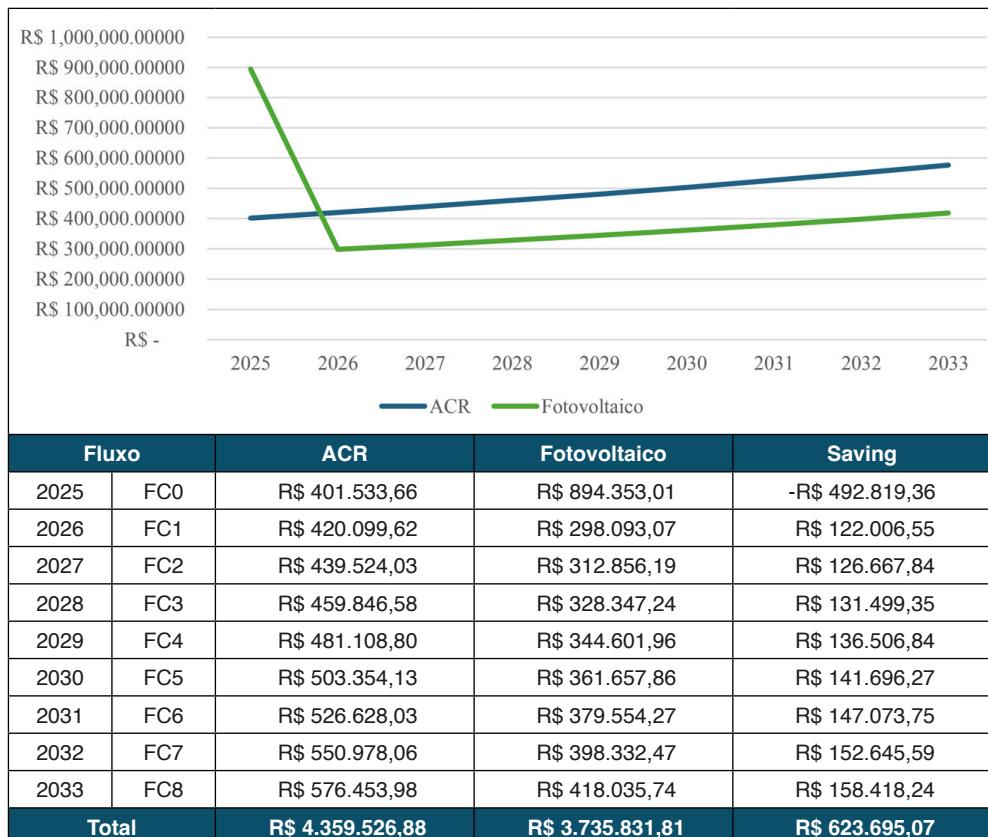


Figura 4. Viabilidade financeira do projeto de migração para a distribuição fotovoltaica.

Fonte: desenvolvido pelos autores.

Salvo o ano de 2025, que foi marcado pelo investimento no sistema fotovoltaico, os demais períodos do sistema fotovoltaico foram apurados a partir do somatório entre os custos de manutenção e os do ACR, subtraídos dos índices de degradação do sistema.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo apresentou um *case* prático sobre como uma análise fundamentada nas premissas do TCO pode proporcionar uma visão mais holística quanto à maximização de performance nas ações relativas às estratégias de suprimentos, contribuindo na identificação de elementos que estão acima de seus custos diretos. Isso é devido ao fato de que uma análise comparativa de TCO consiste em não trabalhar com dados superficiais, propiciando a identificação de gastos futuros e demais custos ocultos de um projeto.

As análises comparativas possibilitam a constatação de que tanto o ACL quanto o Sistema de Geração Distribuída são mais competitivos que o ACR, apresentando retornos de investimento promissores e dentro do horizonte de avaliação. Todavia, mesmo que o Sistema de Geração Distribuída apresente uma curva mais competitiva de redução de custos e *payback* mais rápido, o ACL surge como a melhor opção sob o ponto de vista geral de investimentos, já que o investimento inicial no sistema fotovoltaico pode ser uma objeção para uma geração de eficiência de 30,54%.

A cobertura dos sistemas é outro quesito crucial para determinar o grau de atratividade. Ainda que investimento inicial aponte o Sistema de Geração Distribuída como menos atrativo, é preciso considerar que ele será conectado à rede (*on-grid*) em uma proporção 30-70 de hibridismo com o ACR. Os benefícios deste nível de cobertura serão melhor observáveis no longo prazo, dado que em 25 anos o sistema sofrerá menos impactos do ambiente macroeconômico em relação ao ACL que, no primeiro comparativo, responderá por 100% da demanda.

Apesar de o Sistema de Geração Distribuída requerer uma grande concentração de recursos para a sua implementação e manutenção, o emprego de fontes de energia limpa e renovável torna-se um fator que vai ao encontro das políticas de sustentabilidade vislumbrada para as próximas décadas, seguindo um movimento mundial pró matrizes energéticas mais baratas e corretas em relação ao meio ambiente.

Dante do contexto em que o presente artigo foi realizado, pode-se afirmar, portanto, que o alcance das contribuições do TCO ultrapassou os limites da visão de curto prazo ao sugerir panoramas avaliativos mais amplos a respeito dos aspectos estratégicos, financeiros e operacionais envolvidos nas decisões de investimentos em projetos de suprimentos de longo prazo. Tal percepção pode ser observada no presente estudo por meio de uma visão quantitativa e qualitativa não lineares que fornecem à empresa objeto do estudo a possibilidade de escolha por duas alternativas de projetos plenamente viáveis.

É importante ressaltar que a pesquisa em questão foi realizada em meio a diversas mudanças macroambientais, tais como: o aumento das tarifas por conta das oscilações dos índices de inflação e a aprovação do marco legal da energia distribuída que prevê a cobrança de encargos ligados ao uso dos sistemas de distribuição por parte dos clientes. Neste sentido, propõe-se um novo estudo a partir deste contexto, comparando, inclusive, as análises que contemplam os fluxos da logística reversa no processo.

Aplicando as premissas do TCO, buscar-se-ia comparar os ambientes já estudados com um sistema que combine acrescente ao ACL e ao Sistema de Geração Distribuída as respectivas propostas de custos de pós-posse que fazem parte de uma análise de *Total Cost of Ownership*. A exemplo do que foi efetivado nesta pesquisa, estar-se-ia empregando os mesmos indicadores de viabilidade, diferenciando-se apenas pelo horizonte de investimento de 25 anos, que tende a favorecer o delineamento de avaliações com maior amplitude e o entendimento dos processos de reuso, reciclagem e descarte que podem impactar no projeto.

REFERÊNCIAS

- Abraceel. (2016). *Mercado Livre de Energia Elétrica*: guia básico para consumidores potencialmente livres e especiais.
- Anaeeel. (2021). *Perdas de Energia Elétrica na Distribuição*. https://www.aneel.gov.br/documents/654800/18766993/Relat%C3%B3rio+Perdas+de+Energia_+Edi%C3%A7%C3%A3o+1-2019-02-07.pdf/d7cc619e-0f-85-2556-17ff-f84ad74f1c8d. (Acessado em novembro de 2024).
- Ballou, R. H. (2007). Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos. (5a ed.). Bookman.
- Batista, E. O. (2013). Sistemas de informação: o uso consciente da tecnologia para o gerenciamento. (2^a ed.). Saraiva.
- Berman, C. (2001). Energia no Brasil: para quê? para quem? crise e alternativas para um país sustentável. Editora Livraria da Física.
- Brito, O. (2016). Guia Prático de Economia e Finanças. (1a ed.). Saraiva.
- Bruni, A. L. (2018). Avaliação de Investimentos. (3a ed.). Atlas.
- Bowersox, D. J., Closs, D. J., Cooper, M. B., Bowersox, J. C. (2014). Gestão Logística da Cadeia de Suprimentos. (4a ed.). Bookman.
- Buchanan, M. (2008). Profitable Buying Strategies: how to cut procurement costs and buy your way to higher profits. Kogan Page.
- Campos, A. (2015). Gestão de Compras e Negociação: processos, uso da tecnologia da informação, licitações e aquisições no terceiro setor. Érica.
- Castro, N., Ferreira, D., Maestrini, M., Ozório, L. M. (2012). Os desafios da Regulação de Perdas Não Técnicas no Segmento de Distribuição no Brasil. *Grupo de Estudos do Setor Elétrico (GESEL), da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ)*. http://www.gesel.ie.ufrj.br/app/webroot/files/publications/48_castro233.pdf. (Acessado em novembro de 2024).
- Corrêa, H. L. (2019). Administração de Cadeias de Suprimentos e Logística: integração na era da Indústria 4.0. (2a ed.). Atlas.
- Cokins, G. (2002). *Activity-Based Cost Management: an executive guide*. Wiley.
- Dennis, A., & Fitzgerald, J. (2010). Comunicações de Dados Empresariais e Redes. (10^a ed.). LTC.
- Falvo, M. C., Ruvio, A. (2021). *Electric Systems for Transportation*. MDPI.

- Jaspersen, B. D., & Skjøtt-Larsen, T. (2005). Supply Chain Management: in theory and practice. Copenhagen Business School Press.
- Kaplan, R. S., & Cooper, R. (1998). Cost and Effect: using integrated cost systems to drive profitability and performance. Harvard Business School Press.
- Kon, A. (2017). Economia Industrial: teorias e estratégias. Alta Books.
- Li, L. (2007). Supply Chain Management: concepts, techniques and practices. World Scientific.
- Magalhães, I. L.; & Pinheiro, W. B. (2007). Gerenciamento de Serviços de TI na Prática: uma abordagem com base na ITIL. Novatec.
- Mankiw, G. N. (2020). Introdução à Economia. (4a ed.) Cengage.
- Mitsutani, C. (2017). Compras Estratégicas (*Strategic Sourcing*) e Gestão de Categorias de Compras. In: Mitsutani, C. (Org.). *Compras Estratégicas: construa parcerias com fornecedores e gere valor para seus negócios*. (Cap. 2). Saraiva.
- Moura, B. (2006). Logística: conceitos e tendências. (1a ed.). Centro Atlântico.
- Nieminen, P. S. (2025). Total Cost of Ownership in Manufacturing Industry: basics and more. Bod.
- Pires, S. R. (2016). Gestão da Cadeia de Suprimentos: conceitos, estratégias, práticas e casos. (3ª ed.) Altas.
- Roberts, L. R., & Trent, R. J. (2010). Managing Global Supply and Risk: best practices, concepts, and strategies. J. Ross.
- Rocha, W.; & Borinelli, M. L. (2024). Estratégia Competitividade e Gestão de Custos. Dialética.
- Simchi-Levi, D., Kaminsky, P., Simchi-Levi, E. (2010). Cadeia de Suprimentos, Projetos e Gestão: conceitos, estratégias e estudos de caso. (3a ed.). Bookman.
- Soula, J. M. F. (2012). ISO/IEC 2000: gerenciamento de serviços de tecnologia de informação: teoria e prática. Brasport.
- Vasconcellos, M. A. S. (2015). Economia: micro e macro. (6a ed.). Atlas.
- _____. (2019). Fundamentos de Economia. (6a ed.). Saraiva.
- Wallace, W. L., & Xia, Y. (2014). Delivering Customer Value Through Procurement and Strategic Surcing: a professional guide to creating a sustainable supply network. Pearson.
- Weetman, C. (2019). Economia Circular: conceitos e estratégias para fazer negócios de forma mais inteligente, sustentável e lucrativa. (1a ed.). Autêntica Business.
- Weil, R. L. & Mahler, M. W. (2005). Handbook of Coast Management. (2a ed.). Wiley.
- Zilles, R., Macêdo, W. N., Galhardo, M. A. B., Oliveira, S. H. F. (2012). Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica. Oficina de Textos.