

# A Influência do Tamanho da Empresa na Adoção de Sistemas de Gestão de Energia: Um Modelo de Dinâmica de Sistemas

Camila Reis<sup>1</sup>

camilacompagnoni@gmail.com |  0000-0003-2182-4204

Lívia Benvenuti<sup>1</sup>

lmbvenuti@gmail.com |  0000-0002-4543-4449

Lucila Campos<sup>1</sup>

lucila.campos@ufsc.br |  0000-0002-1610-7617

Maurício Uriona<sup>1</sup>

m.uriona@ufsc.br |  0000-0002-1174-4828

## RESUMO

O isomorfismo pode ser entendido como o processo que leva uma população a assemelhar-se a outra nas mesmas condições ambientais. As pressões isomórficas são sentidas de forma diferente dependendo do tamanho da organização e podem perturbar a adoção de Sistemas de Gestão de Energia, como a ISO 50001. Dadas as diferenças institucionais, como podem as pressões coercivas governamentais ter impacto na disseminação da ISO 50001 em cada grupo de tamanho? Em que medida podem influenciar a disseminação geral da certificação? Este artigo aplica o modelo de difusão de Bass para avaliar a certificação ISO 50001 durante o período 2016-2040, utilizando a modelagem de dinâmica de sistemas. É proposta uma extensão do modelo de difusão relacionado com a pressão dos *stakeholders* no mercado, com base na teoria institucional. Os resultados mostraram que os incentivos financeiros e fiscais tiveram o impacto mais significativo sobre o número total de indústrias certificadas. As grandes empresas são o segmento mais relevante para a difusão da certificação sem políticas adicionais, enquanto as menores se beneficiam significativamente dos programas de incentivo. Este estudo reforça a relevância que os *stakeholders* têm na promoção de normas e iniciativas mais ecológicas e oferece lições úteis sobre a dinâmica de adoção de sistemas de gestão de energia.

## PALAVRAS-CHAVE

Sistemas de gestão de energia, ISO 50001, Modelo de difusão de Bass, Dinâmica de sistemas

<sup>1</sup>Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, Brasil

Recebido: 06/09/2019.  
Revisado: 23/12/2019.  
Aceito: 29/02/2020.  
Publicado Online em: 10/08/2020.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.15728/bbr.2020.17.5.6>



## 1. INTRODUÇÃO

A procura mundial de energia está crescendo, com uma participação significativa dos países não OCDE nesse crescimento para os próximos anos. No caso brasileiro, a Empresa de Pesquisa Energética (EPE) estima um aumento no consumo de energia a uma taxa média anual de 2,5% entre 2019 e 2029, com o setor industrial recebendo destaque no consumo final de energia (atrás apenas do setor energético). Isso implica um aumento do consumo de energia de 83 milhões de toneladas equivalente de petróleo (tep) em 2019 para 108 milhões de tep em 2029 (Brasil, 2019). O crescimento no consumo de energia reflete um aumento nas emissões de gases de efeito estufa (GEE), contribuindo para o aquecimento global. Globalmente, o consumo de energia nos setores industrial e comercial é responsável por quase 40% das emissões globais de GEE (McKane et al., 2017) e, como resultado, várias nações começaram a se concentrar na conservação e na eficiência energética como forma de reduzir essas emissões. Esse contexto demonstra que a redução do consumo de energia nesses setores é, portanto, uma estratégia-chave para que os países atinjam suas metas de contribuições nacionalmente determinadas (CND), delineada na Conferência das Partes (COP), realizada nas conferências das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas.

Quanto às alterações climáticas, para que o setor industrial atinja o seu potencial de mitigação, a falta de capacidades humanas e institucionais para encorajar as decisões de gestão é uma barreira primária à eficiência energética que deve ser contornada (McKane et al., 2017). Pesquisas recentes apoiadas pelo Banco Mundial mostraram o potencial de eficiência energética em segmentos industriais brasileiros com uso intensivo de energia de cerca de 5 milhões de tep (Brasil, 2019). O Sistema de Gestão de Energia (EnMS) pode ser um facilitador na melhoria contínua do desempenho energético. A Organização Internacional de Normalização (ISO) lida com essas normas de sistemas de gestão e conta com mais de 160 organismos nacionais de normalização.

Criada em 2011, a ISO 50001 foi amplamente adotada como uma norma nacional e regional. Logo após primeiro ano de seu lançamento, a ISO 50001 apresentou um crescimento global de mais de 300%, de 459 organizações certificadas em 2011, para 2236 em 2012 (ISO, 2017). No final de 2016, havia mais de vinte mil certificações (ISO, 2017). A norma pode potencialmente afetar 60% do consumo mundial anual de energia (ISO, 2011). Esse potencial tem proporcionado um interesse crescente por parte da comunidade científica. Além disso, até 2030, se 50% do setor industrial se submeterem à gestão da ISO 50001, a economia de energia poderá atingir o equivalente a 210 milhões de veículos de passageiros removidos das estradas (McKane et al., 2017). A busca da redução da intensidade energética reflete, porém, além dos objetivos ambientais, ajudando a reduzir custos e a aumentar a competitividade das instalações industriais. Na relação dos fatores que levam à difusão da ISO 50001 em diferentes regiões do mundo, alguns autores apontam espaço na literatura para futuras investigações mais detalhadas considerando países com menos certificações (como o Brasil), e os fatores que influenciam a difusão desse EnMS (Lira, Salgado & Beijo, 2019).

Embora a ISO 50001 seja uma norma voluntária, os programas regionais ou nacionais que a suportam podem ser obrigatórios. Programas públicos de apoio à implementação do EnMS ajudam as organizações a superar barreiras para a melhoria da eficiência com incentivos fiscais, mecanismos regulatórios, treinamento, programas de reconhecimento e assim por diante. Algumas políticas e programas nacionais impulsionaram a aceitação de sua implementação (McKane et al., 2017). Esses programas e políticas são parte da pressão exercida pelas partes interessadas sobre as organizações, que em última instância influenciam suas decisões gerenciais seguindo uma perspectiva de isomorfismo (DiMaggio & Powell, 1983).

O conceito de teoria institucional preocupa-se com a melhor forma de os grupos e organizações assegurarem a sua posição por meio da legitimidade das práticas organizacionais. O ambiente institucional exerce pressões sociais e culturais sobre as práticas e estruturas organizacionais. Essas pressões podem ser identificadas como leis, marcos regulatórios e práticas do ambiente institucional ou práticas corporativas, seja interna ou externamente, formal ou informalmente. A teoria institucional tem sido aceita como uma justificção para ações, estrutura e práticas das instituições. Tal teoria considera três fatores principais relacionados com o isomorfismo institucional, através dos quais as mudanças institucionais podem ocorrer por meio de pressões coercivas, miméticas e/ou normativas (DiMaggio & Powell, 1983).

A transmissão do isomorfismo coercivo é o resultado das pressões formais e informais praticadas pelas organizações as quais dependem das expectativas culturais da sociedade. Tais pressões são extremamente importantes (Kilbourne, Beckmann, & Thelen, 2002), e as mais óbvias quando se trata de questões ambientais (Zhu & Sarkis, 2007). Pressões coercivas estão associadas a agências governamentais e órgãos reguladores, por meio de regulamentos obrigatórios. Essa pressão pode também surgir da necessidade de cumprir regulamentos tributários e contábeis (Wu, Daniel, Hinton, & Quintas, 2013). Essas multas, penalidades e até mesmo sanções legais, refletem sobre a imagem pública da organização e as relações com os clientes (Sarkis et al., 2010). Portanto, esse isomorfismo pode ser compreendido como a principal razão pela qual as organizações implementam estratégias verdes proativas.

O isomorfismo mimético ocorre pela imitação de ações de concorrentes bem-sucedidos, como uma tentativa de replicar seu caminho para o sucesso (Sarkis, Zhu, & Lai, 2011). Traz um pensamento simples, ou seja, seguir ações de concorrentes bem-sucedidos para também ser bem-sucedido. Quando uma empresa se encontra numa situação incerta, por exemplo, numa rápida mudança tecnológica ou de mercado, o isomorfismo mimético pode manter a competitividade e evitar ou minimizar resultados adversos inesperados (Yang & Hyland, 2012). Em alguns casos, como em um contexto ambiental, os líderes de mercado seguem ações muito além da conformidade, o que acaba elevando o padrão para os outros concorrentes em sua área de mercado. Existem alguns mecanismos por meio dos quais uma organização pode modelar-se por outra, por exemplo, o recrutamento de empregados de outras empresas, consultores e participação em associações industriais (Wu et al., 2013).

Por sua vez, o isomorfismo normativo se refere à busca do cumprimento por parte das organizações para ser percebido como participação legítima nas ações. As pressões normativas surgem da interação entre as empresas, pois elas reforçam e disseminam normas comportamentais. A principal forma de isomorfismo normativo ocorre por meio da profissionalização (Masocha & Fatoki, 2018), ou por obrigação social (Pham, 2015). As pressões normativas estão relacionadas com a consciência ambiental (Ball & Craig, 2010; Zhu & Sarkis, 2007). Por exemplo, grupos comunitários podem influenciar o sistema regulatório, a mídia e os padrões de compra dos consumidores, permitindo que as organizações se adaptem para permanecer no mercado (Henriques & Sadorsky, 2013). Se as organizações têm um número significativo de funcionários preocupados com as questões ambientais, a pressão normativa também é observada (Pham, 2015).

Todas as pressões institucionais (normativas, coercivas e miméticas) têm a força para influenciar uma organização a adotar práticas de gestão da cadeia de suprimentos verdes (Zhu, Sarkis, & Lai, 2008). Várias pesquisas examinaram a influência das pressões institucionais de diferentes partes interessadas nas iniciativas de gestão ambiental (Baek, 2017; Nicole, Irene, & Perry, 2010; Pham, 2015; Sarkis, Gonzalez-Torre, & Adenso-Diaz, 2010). Aos olhos das partes interessadas externas, uma certificação pode contribuir para fortalecer a legitimidade das organizações (Testa, Boiral, & Iraldo, 2018). As pressões institucionais e de mercado têm o poder de influenciar uma

organização a adotar práticas de gestão da cadeia de suprimento verde ou um sistema certificável (Testa et al., 2018; Zhu, Sarkis, & Lai, 2008). Desta forma, a teoria institucional pode ser uma lente organizacional para estudar a transição entre cadeias de abastecimento verdes para cadeias de abastecimento de baixo carbono, onde a ISO 50001 se encaixa (Jabbour et al., 2017).

Vários países têm políticas nacionais de apoio à gestão e eficiência energética industrial. Programas como de Assistência financeira para eficiência energética e implementação do EnMS (*Financial assistance for energy efficiency and EnMS Implementation* - FEEM) podem ser vistos em países como Canadá, China, Dinamarca, Alemanha, Japão, Holanda, entre outros. O Treinamento para Gerentes de Energia (*Training for Energy Managers* - TREM) e o Programa de Reconhecimento (*Recognition Program* - RP) também podem ser vistos nesses países e em outros, como EUA, Suécia e Irlanda. Existem também programas de políticas fiscais (incentivos e/ou penalidades) e os relacionados com os Acordos de estabelecimento de metas com indústrias (*Target-setting Agreements with industries* - TSA).

No Brasil, entretanto, nenhum desses programas nacionais anteriores é evidente e a certificação ISO 50001 tem sido timidamente difundida. Embora algumas indústrias busquem a certificação, a falta de políticas nacionais parece comprometer a sua difusão. Enquanto alguns países como a China, Itália, Reino Unido e Alemanha terminaram 2016 com 1015, 1415, 2829 e 9024 certificações, respectivamente, o Brasil terminou o mesmo ano com 22 (ISO, 2017). Isso posiciona a ISO 50001 não só como um componente-chave para aumentar a eficiência, mas também para experimentar pressões institucionais. Se as contribuições nacionalmente determinadas estão sendo visadas, novas políticas e estratégias governamentais serão necessárias para a energia e as conquistas de baixa eficiência de carbono (Jabbour et al., 2017). Até 2030, o Brasil estabeleceu uma meta de 43% de emissões de GEE (em comparação com o nível de 2005) (MMA, 2016). O governo deve atuar como protagonista com políticas de incentivo (como Políticas Fiscais, Assistência Financeira para Eficiência Energética/ Implementação do EnMS, Treinamento para Gestores de Energia ou Programa de Reconhecimento), metas setoriais (como Acordos de Estabelecimento de Metas com a indústria) ou mesmo propondo políticas obrigatórias para sistemas de gestão de energia.

Tal como na certificação ISO 14001, a certificação ISO 50001 implica custos significativos. Esses custos podem estar relacionados à criação ou modificação de novos sistemas de gestão de materiais e equipamentos existentes, documentação, treinamento, consultores ambientais e auditoria de certificações de terceiros (Darnall, 2006; Kanneganti et al., 2017). O potencial de melhoria da eficiência energética por meio da adoção de práticas de gestão de energia depende principalmente do tamanho, tipo de produção e intensidade energética de uma empresa (Jovanović & Filipović, 2016). Nesse contexto, as empresas com desempenho financeiro superior são mais propensas a procurar e obter certificações de sistemas de gestão (Baek, 2017). No cenário brasileiro, pesquisas sugerem que as pequenas empresas têm menor probabilidade de buscar a ISO 14001 (Oliveira & Serra, 2010; Pombo & Magrini, 2008) porque os benefícios dessa certificação podem ser menos expressivos nesse segmento se considerarmos o retorno sobre os custos da certificação (Campos, 2012). Além disso, é menos provável que as pequenas e médias empresas adotem um padrão quando há ausência ou baixo nível de pressões coercivas, tais como incentivos fiscais e financeiros do governo (Baek, 2017).

Neste contexto, este estudo visa investigar a força que as diferentes políticas e incentivos nacionais podem ter na difusão da ISO 50001. As pressões coercivas têm sido especialmente atribuídas ao reforço da adoção de práticas ambientais (Phan & Baird, 2015). Assim, assumindo diferentes características de adoção (padrão), como diferentes pressões coercivas influenciarão a difusão da ISO 50001 em cada tamanho de segmento das organizações? Até que ponto essas pressões podem afetar a aceitação geral da certificação? Pelo nosso conhecimento, nenhum estudo

anterior investigou como as pressões das partes interessadas podem influenciar a disseminação do EnMS em diferentes tamanhos de organizações. A compreensão da forma como eles podem ser afetados por diferentes políticas e programas pode beneficiar tanto os formuladores de políticas quanto a indústria.

Para isso, desenvolvemos um modelo de dinâmica de sistemas baseado na teoria do Modelo de Difusão de Bass (*Bass Model* - BM) para avaliar a difusão da certificação EnMS - ISO 50001. Foram consideradas algumas extensões ao modelo, como a inclusão de outra força de difusão, além do fator inovador e imitador, denominada força de relação com o mercado. O *software* Stella® da Isee Systems foi utilizado para calibrar fatores usando a métrica de soma dos erros quadráticos (*Sum of Square Errors* - SSE) entre o número histórico total de indústrias certificadas ISO 9001 e o resultado do modelo de simulação para o período 1997-2016. Com base na literatura da teoria institucional, algumas suposições foram feitas quanto à força e –em que medida – essas forças influenciam diferentes tamanhos de organização, através de simulações, também com o *software* Stella®. Além disso, o modelo permitiu a avaliação de algumas políticas que induziram à aceitação da certificação.

Observamos que os incentivos financeiros e fiscais têm um impacto mais significativo sobre o número de indústrias certificadas. Em contraste com as grandes indústrias, as pequenas e médias empresas se beneficiam das políticas adicionais testadas no modelo. No campo científico, este estudo oferece informações úteis sobre o uso de sistemas de gestão de energia em diferentes tamanhos de indústrias. Este estudo fornece implicações para que tanto a indústria como os governos promovam a norma ISO 50001 entre as organizações, reforçando a relevância das partes interessadas para a promoção de iniciativas mais ecológicas. Os resultados são úteis para os formuladores de políticas em diferentes tipos de políticas, incentivos e estratégias – não observadas no Brasil até o momento – que ajudam na difusão dos sistemas de gestão de energia, contribuindo para a tomada de decisões.

## 2. MÉTODO

Para a investigação da difusão da ISO 50001 no Brasil, usamos a teoria de Bass (Bass, 1969) através da modelagem da dinâmica de sistemas (ver Sterman, Oliva, Linderman, e Bendoly (2015)). Algumas extensões foram consideradas, como apresentadas a seguir. Além disso, alguns cenários de políticas são avaliados para investigar o potencial que eles têm na promoção da aceitação desse EnMS por tamanho da organização. Assim, o método de pesquisa foi dividido em três subseções. A subseção 2.1 apresenta brevemente a descrição do modelo de Bass. A subseção 2.2 apresenta os procedimentos realizados para o desenvolvimento do modelo, que inclui os pressupostos considerados e os parâmetros estimados. A subseção 2.3 apresenta as descrições dos cenários considerados para análise e suas implicações no modelo.

### 2.1. MODELO DE DIFUSÃO DE BASS (BASS MODEL - BM)

Por definição, os modelos de difusão procuram representar o crescimento de uma categoria particular de produtos (Mahajan, Muller, & Bass, 1990). Assim, a difusão de inovações tecnológicas passou a ser amplamente descrita por modelos matemáticos, envolvendo modelos de difusão e contágio aplicáveis a vários fenômenos e estruturas sociais (Bertotti, Brunner, & Modanese, 2016). O BM tem sido amplamente utilizado porque o modelo é prático e direto para prever ou explicar vários fenômenos de difusão (Daim, Iskin, & Ho, 2011).

O modelo considera a interação entre indivíduos, bem como estratégias de *marketing* e descreve uma curva em forma de S para a difusão de produtos ou práticas. O BM é descrito por uma

série de equações diferenciais não lineares de primeira ordem, conforme observado na Equação (1). Ele propõe que a difusão ocorra através de duas forças independentes: (i) publicidade (por inovadores) e (ii) boca a boca (por imitadores) (Bass, 1969):

$$\frac{dN(t)}{dt} = p[m - N(t)] + \frac{q}{m}N(t)[m - N(t)], \quad t \geq 0 \quad (1)$$

onde  $N(t)$  é o número cumulativo de adotantes em um mercado potencial de tamanho  $m$ ,  $p$  representa o fator inovador (independentemente do número de adotantes), e  $q$  representa o fator de imitação (dependendo do número de adotantes). Além dos mecanismos imitadores e inovadores, a difusão se baseia em um mercado potencial pré-determinado. Nesse modelo, à medida que a fração de adotantes cresce, o fator de adoção por boca a boca ganha força, induzindo um *feedback* positivo (Bass, 1969). Portanto, o fator publicitário, relacionado ao perfil inovador, perde sua força na taxa de adoção.

## 2.2. DESENVOLVIMENTO DE MODELOS E SUPOSIÇÕES

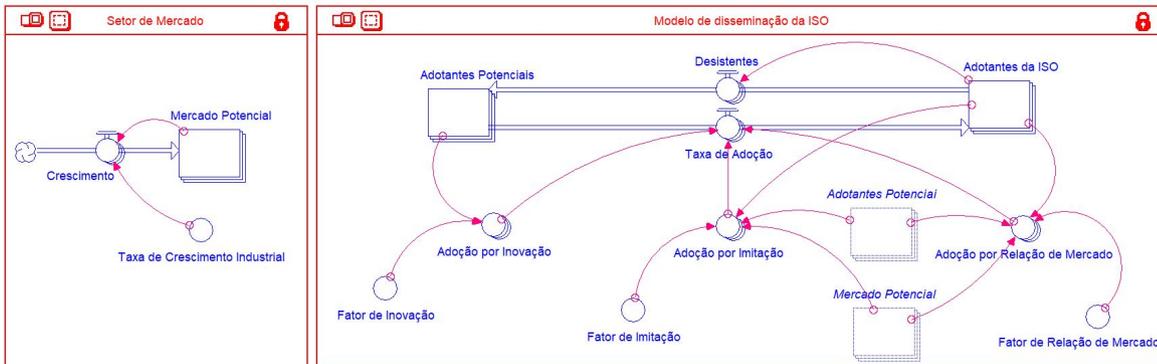
Muitos autores mostraram que a adoção da ISO 9001 por uma organização prevê o comportamento da ISO 14001 também (Baek, 2017; Darnall, 2006; Delmas & Montes-Sancho, 2011). Além disso, as lições da operação de qualquer um desses sistemas de gestão também podem ser reproduzidas em outros padrões (Stevens, Batty, Longhurst, & Drew, 2012). Dois fatores se destacam pela disseminação da ISO 50001 em oito dos doze países com o maior número de certificações, a saber, a utilização de fontes de energia renováveis e a adoção anterior das normas. ISO 90001 e ISO 14001 (Lira, et al., 2019). Ou seja, a tendência em países com baixas certificações ISO 50001, como no caso do Brasil, é que o crescimento dessa norma seja impulsionado pela adoção de normas mais antigas (como ISO 9001 e ISO 14001), na linha do tempo observada pelos pesquisadores. A partir de tal lógica, assumimos que a ISO 50001 irá potencialmente seguir uma tendência semelhante à ISO 9001 ao longo do tempo. Além disso, a ISO 14001 tem menos dados históricos, portanto, nos concentramos nos parâmetros de difusão do Sistema de Gestão da Qualidade (*Quality Management System – QMS*) e os usamos para modelar a difusão do EnMS.

Tradicionalmente, os negócios são classificados em quatro grupos de tamanho: (i) microempresas: até 4 empregados; (ii) pequenas empresas: de 5 a 49 empregados; (iii) médias empresas: de 50 a 249 empregados e (iv) grandes empresas: 250 ou mais empregados (IBGE, 2018). No entanto, neste estudo, as microempresas não foram consideradas devido às suas características únicas, como a provisão de menos recursos (financeiros ou operacionais), falta de planejamento formal, dificuldade em atrair investimentos, susceptibilidade a uma economia local apenas, entre outras (Battisti & Perry, 2011). Além disso, dos diferentes segmentos, optamos por utilizar o setor industrial, que é aquele que mais tem buscado a certificação de EnMS (ABESCO, 2018).

Da Equação (1) há três parâmetros necessários para a previsão da difusão: mercado potencial ( $m$ ), fator inovador ( $p$ ) e fator imitador ( $q$ ). Duas extensões ao BM foram consideradas: (i) desistência e (ii) uma força influente denominada fator de relação com o mercado ( $mr$ ). A primeira refere-se a quando as empresas optam por não renovar o sistema de gestão, regressando novamente a potenciais adotantes. A segunda, enquanto a difusão dos produtos é, em geral, estimulada pela publicidade e imitação, neste estudo propomos outra força influente para a difusão da certificação ISO. Essa força está relacionada com o comportamento no qual as empresas são influenciadas de forma direta, por exemplo, empresas que requerem que os seus fornecedores sejam também certificados por um sistema de gestão para manter (ou iniciar) a sua parceria. Consideramos que o seu impacto na taxa total de adoção é calculado de forma semelhante à força imitadora

(dependente dos adotantes cumulativos), mas proporcional a um fator de relação com o mercado ( $mr$ ) e não o fator imitador ( $q$ ).

A Figura 1 apresenta o modelo de Dinâmica de Sistemas (*System Dynamics* - SD) desenvolvido para a difusão de indústrias certificadas pela ISO. Esse modelo é utilizado tanto para a estimativa dos parâmetros através da correspondência histórica ISO 9001 como para a difusão da ISO 50001 no longo prazo (2016-2040). O uso de uma função “array” sobre as ações modelo (mercado potencial, adotantes potenciais e adotantes ISO), permite uma investigação mais profunda das diferentes dimensões das empresas. Permite examinar a resposta do tamanho de cada segmento à expansão da certificação ISO e as políticas que induzem a sua disseminação.



**Figura 1.** Modelo de dinâmica de sistemas de difusão de certificação de sistemas de gestão baseado na teoria da difusão de Bass dividida em dois setores: (i) mercado e (ii) modelo de difusão ISO.

**Fonte:** Elaborado pelos autores, 2018.

A equação (2) resume as variáveis envolvidas na conta do estoque ‘Adotantes da ISO’, o número de indústrias certificadas. As três primeiras variáveis são somadas na variável “taxa de adoção” de fluxo da Figura 1.

$$Adotantes da ISO = Adoção por publicidade + Adoção por boca a boca + Adoção por relações de mercado - Desistentes \quad (2)$$

$$\frac{dN(t)}{dt} = p[m - N(t)] + \frac{q}{m} N(t)[m - N(t)] + \frac{mr}{m} N(t)[m - N(t)] - 0.05 N(t) \quad (3)$$

A equação (3) inclui a força de relação com o mercado e a taxa de desistência. Foram feitas algumas suposições sobre como as empresas respondem a essas diferentes forças. Primeiro, a adoção pela inovação só seria compatível com as grandes empresas, já que a adoção de sistemas de gestão está fortemente ligada a alguns fatores, tais como a disponibilidade de funcionários, treinamento e capital disponível (Baek, 2017; Darnall, 2006).

Por outro lado, a adoção por imitação seria compatível com as grandes e médias indústrias, mas não com as pequenas empresas, devido às suas características únicas (Battisti & Perry, 2011; Oliveira & Serra, 2010). As indústrias que dispõem de menos recursos (financeiros ou operacionais) têm

maior probabilidade de carecer de planejamento formal, de ter dificuldade em atrair investimentos e de ser mais susceptíveis apenas a uma economia local. Assim, é mais improvável que se limitem a copiar normas ou práticas de gestão baseadas no sucesso de outras empresas.

Em termos de relações de mercado, quanto mais próximos os fornecedores estiverem da empresa focal, maior será o seu desempenho reativo em questões ambientais, enquanto os fornecedores de nível inferior tendem geralmente a abordar as questões ambientais passivamente (Villena & Gioia, 2018). No entanto, todas as indústrias podem ser influenciadas por essa relação. Finalmente, assumimos que a adoção pela relação com o mercado influencia todas as empresas, independentemente da sua dimensão, uma vez que as suas relações na cadeia de abastecimento cobrem todas as dimensões das empresas (Baek, 2017; Darnall, 2006; Graafland, 2018; Sarkis et al., 2010). O Quadro 1 resume brevemente qual tipo de força influencia cada tamanho organizacional, considerado para o modelo SD, e a Tabela 1 apresenta os parâmetros exógenos iniciais.

#### Quadro 1

*Tipos de adoção e sua influência sobre os diferentes segmentos de tamanho de mercado*

Tipo de adoção	Pequenos negócios	Médio porte	Grande
Inovação			✓
Imitação		✓	✓
Relação com o mercado	✓	✓	✓

**Fonte:** Elaborado pelos autores, 2018.

#### Tabela 1

*Valores de ajuste inicial para a calibração dos coeficientes de Bass*

Parâmetros do modelo	Valor
$m_{total}$ (valor fixo)	300001
$m_{pequeno}$	6915
$m_{medio}$	18926
$m_{grande}$	4159
$N(t)_{total}$ (inicial em 1997)	2068
$N(t)_{pequeno}$	103
$N(t)_{medio}$	414
$N(t)_{grande}$	1551
Desistentes	5%

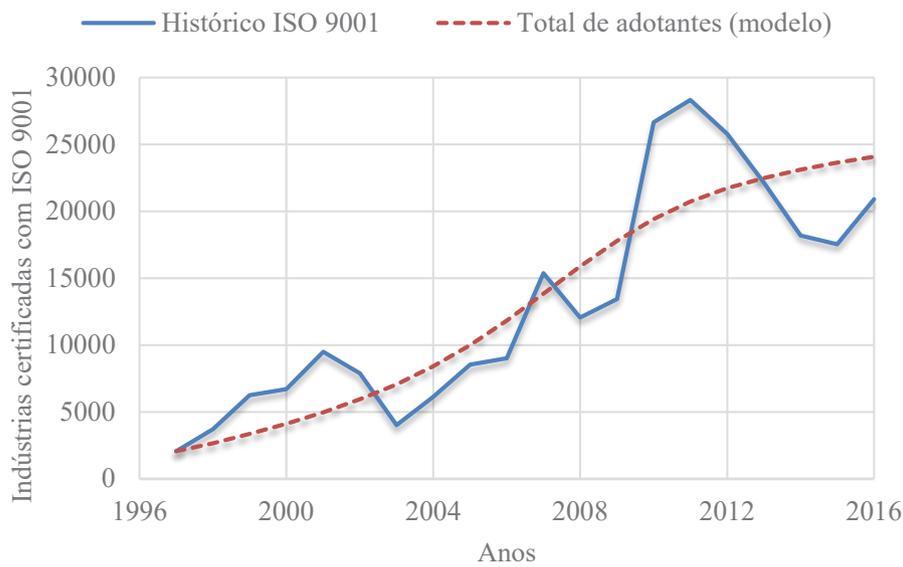
<sup>1</sup> Uma taxa crescente é considerada em alguns cenários, descritos na próxima subseção.

**Fonte:** Elaborado pelos autores, 2018.

O mercado potencial  $m_{total}$  no nosso caso é um número arredondado do número máximo de organizações certificadas pela ISO 90001 alcançado nos últimos 25 anos (que foi de 28325 em 2011). O mercado potencial de cada segmento assumiu que 100% das médias e grandes empresas seriam um mercado potencial a ser certificado pela ISO 9001. Assim, os valores para  $m_{medio}$  e  $m_{grande}$  representam 100% do seu mercado em 2016 (IBGE, 2018). Assim, os números restantes para a soma de 30000 indústrias (6915) foram atribuídos a pequenas empresas.

O número inicial de adotantes,  $N_{total}$  é um número conhecido. Contudo, foram feitas algumas suposições para os números iniciais de cada tamanho de segmento. Foi atribuído um peso diferente, ou seja: 75%, 20% e 5% do valor inicial  $N_{total}$  para grandes, médias e pequenas indústrias, respectivamente (Tabela 1). A taxa de desistência é a taxa média ao considerar todos os anos desde 1993. Essa desistência existe porque as incertezas econômicas do mercado, como as crises financeiras, podem distorcer diretamente a atitude das empresas em relação a ações ambientalmente amigáveis.

Finalmente, tendo estabelecido cada cenário inicial, estimamos os três fatores ( $p$ ,  $q$  e  $mr$ ) utilizando o recurso de otimização do Stella®. A métrica de calibração escolhida foi a soma dos erros quadráticos entre o número histórico total de indústrias certificadas com ISO 9001 e os resultados simulados do modelo, para o período 1997-2016. A Figura 2 apresenta o resultado da simulação, e a Tabela 2 apresenta os valores ajustados obtidos por meio da calibração.



**Figura 2.** Números históricos de indústrias certificadas com ISO 9001 (azul), e resultados simulados (vermelho) usando parâmetros estimados mostrados na Tabela 2.

**Fonte:** Elaborado pelos autores, 2018.

**Tabela 2**

*Coefficientes do modelo de difusão de Bass  $p$  e  $q$  bem como o coeficiente  $mr$  proposto, ajustado para a curva histórica da ISO 9001. Essas taxas são então utilizadas para a simulação ISO 50001*

Coefficientes dos modelos	Valores da faixa de calibração	Valor do resultado
$p$	0.001 – 0.01	0.001
$q$	0.1 – 0.3	0.188
$mr$	0.3 – 0.5	0.3

**Fonte:** Baseado no IBGE, 2018, elaborado pelos autores, 2018.

Observe que os valores do intervalo para  $q$  e  $mr$  são diferentes. No início, uma vez que são calculados pela mesma lógica, devem ser igualmente testados. No entanto, devido à nossa suposição de que todos os tamanhos de indústrias são influenciados pela relação com o mercado, nós os restringimos a assumir maior e menor valor para a relação com o mercado e taxas de imitadores, respectivamente.

Algumas comparações semelhantes de resultados de tais valores podem ser vistas em Zhu, Tian, e Sarkis (2012). Os autores utilizaram o BM para analisar a certificação ISO 14001 e as práticas de rotulagem ecológica na China e encontraram valores para  $p$  que variam entre 0,0003 e 0,002, e valores para  $q$  entre 0,4 e 0,7 (diferentes cenários potenciais de mercado estavam envolvidos). Outra comparação é encontrada em Sultan, Farley e Lehmann (1990), com uma média de 0,03 para o coeficiente de inovação e 0,38 para o coeficiente de imitação, quando se investiga a difusão geral da inovação.

### 2.3. DEFINIÇÃO DE CENÁRIOS

Dada a tímida aceitação inicial da certificação ISO 50001 no Brasil (ISO, 2017), examinamos a influência que forças mais coercivas podem ter na sua adoção. Além disso, investigamos como essas pressões adicionais das partes interessadas, através de políticas e incentivos governamentais, poderiam ter um impacto em diferentes tamanhos de indústrias. Vários países têm políticas que parecem ter um resultado positivo em relação ao número de empreendimentos certificados pela norma (McKane et al., 2017). Assim, os cenários avaliados afetariam diferentes tamanhos industriais, com a inferência de que os programas nacionais ocorreriam. O Quadro 2 apresenta cada cenário juntamente com as suas descrições e implicações no modelo.

#### Quadro 2

*Descrições e implicações dos cenários*

Cenários	Descrições e implicações
Modo de Referência	Este é o cenário onde o problema é caracterizado (Sterman, 2000), ou seja, se nada for feito, de que forma o padrão se desenvolverá ao longo do tempo em cada tamanho de segmento industrial.
Cenário 1 - Pressão coerciva moderada	Quando programas como o “treinamento para gestores de energia” (TREM) são desenvolvidos no país a partir de 2020. Com isso, a força imitadora nas pequenas indústrias é ativada, assumindo o mesmo valor de fator que as médias e grandes empresas. Com isso, supomos que o mercado potencial para as pequenas empresas aumentaria, assumindo o aumento médio de 3% de crescimento industrial por ano (IBGE, 2018).
Cenário 2 - Pressão coerciva alta	Quando programas como “assistência financeira para eficiência energética e implementação do EnMS” (FEEM) e “incentivos de políticas fiscais” (TP) ocorrerem a partir de 2020. Com isso, a força inovadora tanto em pequenas como médias indústrias é ativada (Quadro 1), assumindo a mesma taxa de inovação que as grandes empresas. Com isso, assumimos que o mercado potencial para as pequenas e médias empresas aumentaria, assumindo a taxa de crescimento industrial de 3% ao ano.
Cenário 3 - Pressão coerciva agressiva	O caso em que a ISO 50001 se torna obrigatória para todas as grandes indústrias a partir de 2030. Como as indústrias seriam previamente reconhecidas dessa política, de 2025-2029, “ $q$ ” e “ $mr$ ” aumentam em 50%, pois tanto as forças imitadoras como as de relação com o mercado se intensificariam sobre esse segmento. Com isso, incluímos um aumento potencial de mercado para grandes empresas, assumindo a taxa média de crescimento industrial de 3% ao ano.
Cenário 4	As políticas anteriores no seu conjunto, juntamente com as suas implicações.
Cenário 5	Políticas anteriores no seu conjunto, mas aqui o mercado potencial total é fixo, assumindo o mesmo valor do mercado potencial ISO 9001, ou seja, 30 mil.

*Fonte:* Elaborado pelos autores, 2018.

A taxa de crescimento industrial considerada nos cenários 1, 2 e 3 foi baseada em dados históricos do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2018). Assumimos a taxa média de 3%

ao ano para todos os tamanhos de empresas como uma limitação do modelo. A implementação de iniciativas ambientais como o EnMS requer tanto conhecimento como capacidades pessoais. Pela ocorrência de programas como o TREM, o cenário 1 assume um cenário em que as empresas que, provavelmente, menos têm disponibilidade de pessoal, seriam induzidas a implementar a ISO 50001, pois teriam oportunidades de aprendizagem através de treinamento. Sabendo que as práticas ambientais podem ser melhoradas por programas frequentes de treinamento (Phan & Baird, 2015), induzidos por relações de colaboração (Darnall, Henriques, & Sadorsky, 2008) e, portanto, receber maior influência ao negociar termos de regulamentação com o governo (Sarkis et al., 2010), as pequenas empresas estariam dispostas a imitar seus pares de mercado e implementar a ISO 50001.

No cenário 2, assumimos que a existência de apoio financeiro deve, de alguma forma, induzir as pequenas e médias empresas a investir na implementação da ISO 50001. Eles seriam mais suscetíveis a inovar e experimentar esse novo sistema de gestão de energia. No cenário 3, é definida uma pressão coerciva mais agressiva, que surge de uma medida obrigatória que todas as grandes indústrias precisariam implementar o padrão até 2030. Esse segmento de indústrias tem maior probabilidade de fornecer pessoal para trabalhar plenamente na sua implementação e monitoramento, bem como maior probabilidade de consumir mais energia.

Finalmente, em ambos os cenários 4 e 5, assumiu-se que todas as políticas são implementadas e que a principal diferença está no tamanho total do mercado potencial. Embora assumamos que o mercado potencial possa aumentar anualmente devido aos incentivos propostos pelo governo, em nosso último cenário (cenário 5), esse valor permanece constante no número de indústrias certificadas pela ISO 9001 no momento. O horizonte temporal escolhido para a simulação é o período 2016-2040, que é o período médio no qual a ISO 9001 está no mercado (25 anos, desde 1993).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

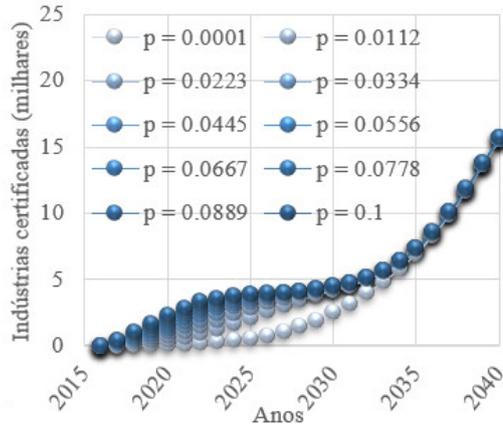
#### 3.1. ANÁLISE DE SENSIBILIDADE

Devido às incertezas quanto aos parâmetros estimados, realizamos uma análise de sensibilidade de três variáveis: (a) fator inovador -  $p$  (b) fator imitador -  $q$  e (c) fator de relação com o mercado -  $mr$ . Nessa análise, consideramos duas variações do modo de referência: (1) mercado potencial fixo; (2) mercado potencial variável - aumento do mercado potencial.

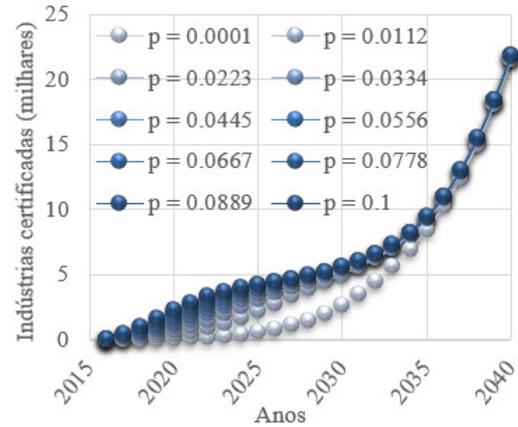
Como o fator inovador está diretamente relacionado com o mercado potencial, espera-se que tenha uma influência mais significativa no número de adotantes no início do período analisado. Por outro lado, os fatores de imitação e relação com o mercado apresentam uma grande contribuição no número total de adotantes ao longo do tempo, porque ambos estão relacionados não só com o mercado potencial, mas também com o número total de adotantes (dinâmica semelhante).

A Figura 3 apresenta as simulações das duas variações do modelo (1 e 2), com base nas considerações da Tabela 1, com a resposta das empresas que adotam a certificação ISO 50001 quando os diferentes valores dos fatores  $p$ ,  $q$  e  $mr$  são assumidos. Esses fatores foram testados considerando um intervalo entre eles, em ambas as variações do modelo.

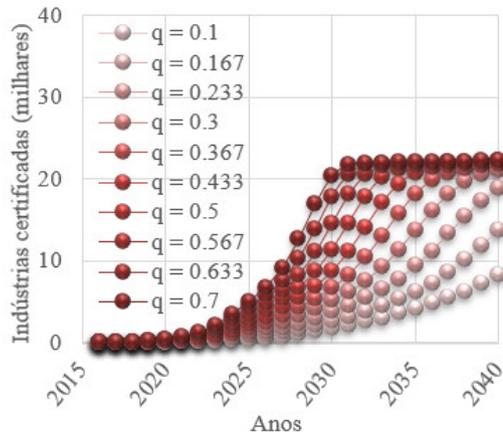
Considerando a análise de sensibilidade da modalidade de referência em  $a_1$ ,  $b_1$  e  $c_1$ , independentemente dos valores assumidos, a adoção (empresas certificadas) não atinge o mercado potencial inicial, ou seja, 30 mil. Isso pode ser parcialmente explicado pela ocorrência da desistência considerada no modelo. Assim, mesmo sem um aumento do mercado potencial no mesmo período, não teríamos o mercado potencial certificado pela ISO 50001 até 2040.



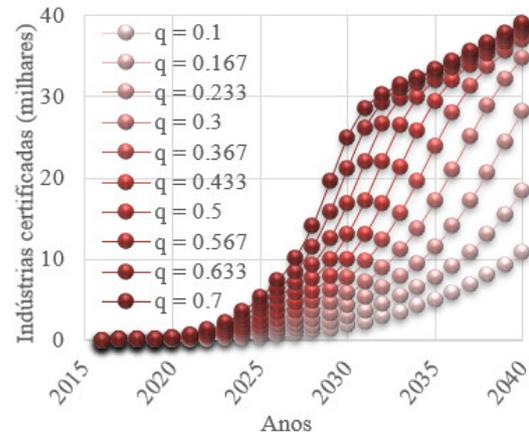
(a1)



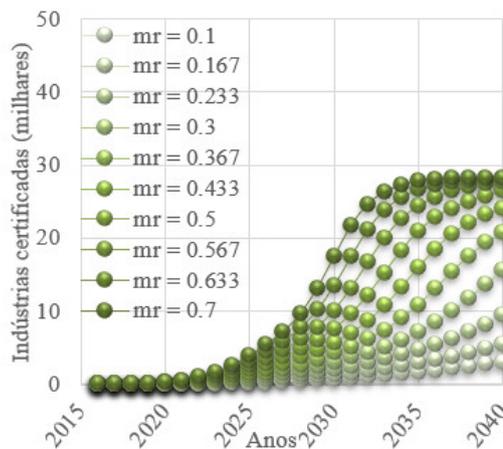
(a2)



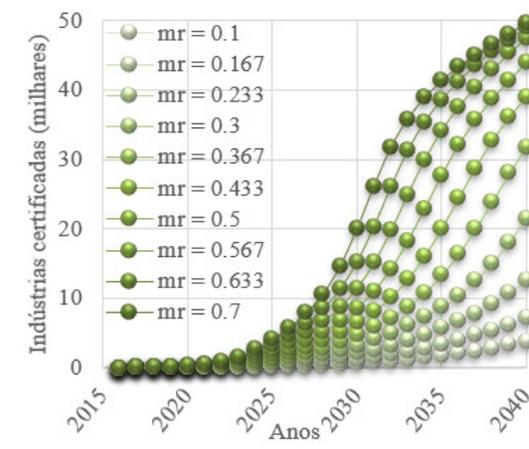
(b1)



(b2)



(c1)



(c2)

**Figura 3.** Análise de sensibilidade dos parâmetros estimados: inovador (a), imitador (b) e relação de mercado (c), a partir da definição do modo de referência com mercado potencial total fixo e crescente em número 1 e 2, respectivamente.

**Fonte:** Elaborado pelos autores, 2018.

Nota-se que ao considerar uma variação no mercado potencial, os resultados das empresas certificadas são mais expressivos, superando o mercado inicial de 30 mil para alguns valores de  $q$  e  $mr$ . Essa diferença é significativa: para um fator de imitação de 0,7, há aproximadamente 25 mil empresas certificadas considerando um mercado potencial fixo (b1), contra quase 40 mil empresas certificadas considerando um mercado potencial variável (b2) até 2040. O mesmo é válido para o caso de  $mr = 0,7$ : uma adoção de quase 30 mil empresas quando o mercado é fixo (c1) e quase 50 mil empresas certificadas quando há um mercado em crescimento (c2).

Quanto ao fator inovador (a1 e a2), em tempos mais distantes, a alteração do seu valor não altera significativamente o número de adotantes. Tal força influencia apenas as grandes empresas (cenário do modo de referência). Até 2040, um aumento desse fator (0,0001 - 0,1) proporciona uma diferença de 98 e 350 indústrias certificadas do modo de referência em a1 e a2, respectivamente. Isso mostra como a força inovadora tem pouca relevância numa perspectiva de longo prazo, como previsto no modelo. No entanto, essa afirmação não é verdadeira quando observamos períodos mais próximos do lançamento da certificação.

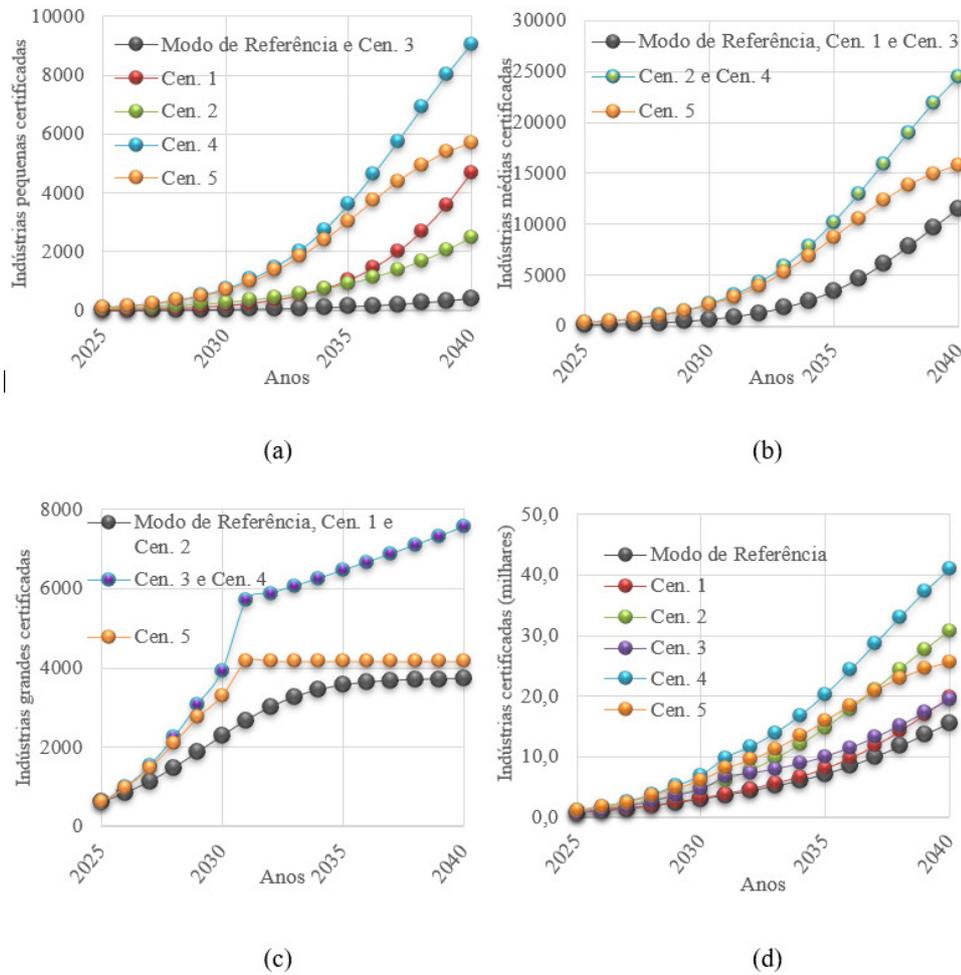
Por outro lado, o fator imitador (b1 e b2) tem sensibilidade considerável para o número total de adotantes. Tal resultado está relacionado com a identificação do perfil de imitador tanto de médias como de grandes empresas. O contágio de médias e grandes empresas certificadas com as não certificadas aumentará cada vez mais com o tempo. Assim, mudanças no valor do fator  $q$  implicam alterações significativas no número total de adotantes. Até 2040, considerando um aumento de  $q$  (0,1 - 0,7), existe um delta de aproximadamente 15 e 28 mil empresas certificadas em b1 e b2, respectivamente.

Quanto à força de relação de mercado, em ambos os casos (c1 e c2) o  $mr$  apresenta a resposta mais sensível ao número de adotantes da ISO 50001. Esse perfil era esperado uma vez que reflete a forma como as empresas de todos os tamanhos são induzidas pelo mercado. As pequenas, médias e grandes empresas são influenciadas pela relação de mercado e, portanto, são as mais influenciadas por ela. Os vários valores testados mostram que uma pequena variação implica um rápido aumento da adoção ao longo do tempo. Ao aumentar o fator  $mr$ , há um aumento de aproximadamente 25 e 45 mil empresas certificadas em c1 e c2, respectivamente.

### 3.2. RESULTADOS DOS CENÁRIOS

A Figura 4 apresenta o número potencial de indústrias certificadas com ISO 50001 por cada segmento de tamanho e no número total de adotantes por cenário. Como esperado, o modo de referência proporcionou o menor resultado ao longo do tempo, com pouco mais de 15 mil indústrias até 2040. Com a mesma tendência de expectativa, o maior resultado veio do cenário 4, quando todas as políticas foram realizadas, com mais de 40 mil certificações. Para uma melhor visualização, o horizonte temporal escolhido para os resultados do segmento de tamanho foi a partir de 2025. A Tabela 3 fornece a diferença percentual entre cada resultado do modo de referência em 2040.

Nosso principal objetivo não é prever um número específico de quantas indústrias seriam certificadas pela ISO 50001 no Brasil. Embora a modelagem de Dinâmica de Sistemas permita essa análise, o principal resultado é uma interpretação e compreensão da dinâmica envolvendo um determinado processo/problema para auxiliar a formulação de políticas (Ciarli, Coad, & Rafols, 2016). Concentramo-nos em comparar o aumento potencial que as políticas e incentivos podem trazer para a realidade da difusão padrão em termos percentuais. Além disso, a sua proporção de mercado alcançada também é discutida.



**Figura 4.** Resultados simulados de indústrias certificadas com ISO 50001 em (a) pequenas empresas, (b) médias (c) grandes e (d) número total de indústrias em cada cenário ao longo do tempo.  
**Fonte:** Elaborado pelos autores, 2018.

**Tabela 3**

*Aumento percentual do cenário do Modo de referência correspondente ao tamanho do setor e nos resultados do tamanho total*

Cenário	1	2	3	4	5
Pequeno (%)	1068	520	0	2161	1326
Médio (%)	0	113	0	113	37
Grande (%)	0	0	103	103	12
Total (%)	27	97	25	163	64

**Fonte:** Elaborado pelos autores, 2018.

A pressão coerciva é a mais óbvia quando se trata de questões ambientais (Zhu & Sarkis, 2007) e pode ser compreendida como a principal razão pela qual as organizações implementam estratégias verdes pró-ativas. Essa descoberta está em consonância com Pham (2015), que estudou a influência da teoria institucional na cobertura dos Sistemas de Gestão Ambiental. Entre outros resultados, o autor confirmou uma correlação positiva entre pressões coercivas ao escopo dos Sistemas de Gestão Ambiental (SGA), afirmando que tanto a adoção de SGA quanto sua cobertura

podem ser significativamente afetadas pelo governo. Desta forma, o governo pode criar pressões regulatórias para induzir melhorias no desempenho ambiental (Pham, 2015), e isso também se aplica a questões relacionadas à gestão de energia e emissões.

Ao abordar questões ambientais no nível da cadeia de suprimentos, pode haver respostas passivas, reativas ou proativas; entretanto, os fornecedores de nível inferior tendem a responder mais passivamente às questões ambientais (Villena & Gioia, 2018). Assim, para esses fornecedores, as políticas e pressões nacionais exercem mais influência na sua atitude em relação às questões ambientais do que as relações de mercado. De acordo com a Agência Internacional de Energia (*International Energy Agency - AIE*), as políticas públicas são essenciais para melhorar a eficiência energética (AIE, 2013). No caso deste estudo, separamos uma pressão coerciva moderada, mais elevada e agressiva, como diferentes cenários.

Se ocorrer uma pressão coercitiva moderada, como a política nacional de suporte ao treinamento em gerenciamento de energia industrial (cenário 1), as empresas menores poderão obter um aumento de 1068% em sua aceitação da certificação (mais de 4 mil certificações contra cerca de 400 no modo de referência, Figura 4a). A suposição envolve a força imitadora que influencia a decisão deles de obter a certificação se apenas, primeiro, estiver imerso em uma cultura de treinamento das partes interessadas. Alguns exemplos internacionais são o *Federal Energy Management Program Training* promovido pelo *Office of Energy Efficiency & Renewable Energy* (Energy, 2018) nos EUA, ou de um organismo profissional para a indústria energética do *Energy Institute* no Reino Unido (EnergyInstitute, 2018). Esse cenário não altera os resultados das médias e grandes empresas, com aumento zero a partir do modo de referência, uma vez que é mais provável que elas tenham pessoal designado para pesquisar as preocupações de eficiência energética e, portanto, sua realidade imitadora já está no lugar.

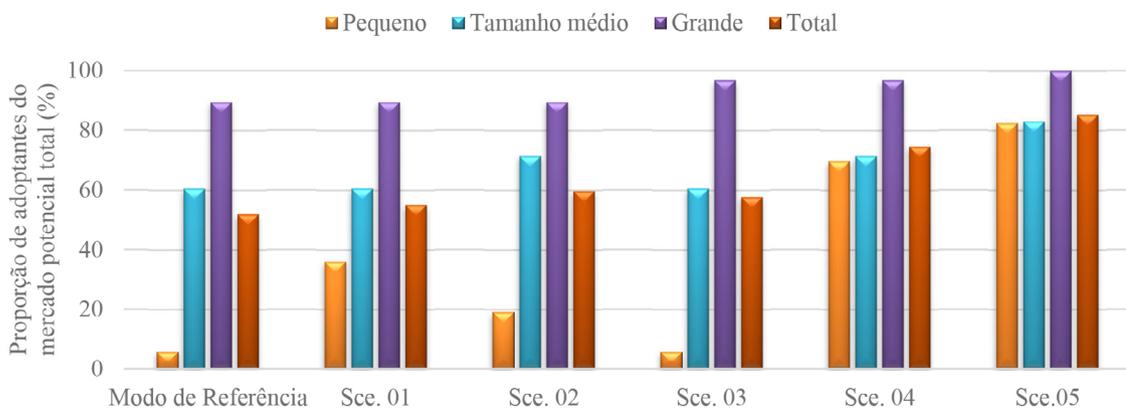
Quando há maior pressão coerciva à medida que os incentivos financeiros e fiscais entram em cena (cenário 2), tanto as pequenas como as médias empresas têm a sua disseminação aumentada em 520% e 113%, respectivamente, devido à dimensão inovadora. Embora tenha sido obtido um resultado positivo para as pequenas empresas, os resultados mostram aproximadamente metade do número alcançado no cenário 1. Tal fato se deve aos pressupostos de que a assistência financeira e os incentivos fiscais interfeririam apenas na força inovadora, que se expressa de forma menos intensa do que outras forças (Figura 3). A ideia é que com incentivos financeiros eles estariam dispostos a colocar em sua agenda a implementação da ISO 50001 por sua própria iniciativa.

As grandes empresas, por outro lado, não apresentam uma taxa aumentada em comparação com o modo de referência no cenário 2. Não se trata de afirmar que o apoio financeiro não vem convenientemente para eles, deve-se simplesmente ao pressuposto de que essa ocorrência política não alteraria a sua dinâmica. Suas forças motrizes de adoção já estão em funcionamento e, portanto, o mercado potencial que foi assumido para eles (100% do seu mercado em 2016) não deve ser influenciado significativamente.

No cenário 3, as grandes empresas aumentam 103% em seu número de certificações até 2040. Esse é o caso da pressão coerciva agressiva, assumindo que o governo estabelecerá uma política obrigatória sobre esse segmento. No caso em que todas as políticas estudadas são combinadas, cenário 4, um número significativamente maior é alcançado pelas empresas de pequeno porte em comparação com os outros segmentos de tamanho. Na verdade, pela integração de políticas, obtém-se um número de certificação mais elevado de pequenas empresas com ISO 50001 quando comparado com os números alcançados quando as políticas são avaliadas individualmente e depois somadas (9050 contra 6756 pequenas empresas certificadas). Isso ocorre devido à cooperação tanto da inovação como da imitação de padrões de adoção que são definidos simultaneamente, proporcionando resultados sinérgicos.

Os resultados refletem sobre a importância das políticas e incentivos para todas as dimensões da empresa e, neste caso, para expandir seu impacto em indústrias de pequeno porte, conhecidas por sua menor aceitação no sistema de gestão, como a ISO. Graafland (2018) confirmou que só se conseguem impactos positivos substanciais nas pequenas e médias empresas quando estas estão ligadas a uma rede de empresas. Ainda assim, não se deve desprezar um duplo resultado de aumento tanto nas médias como nas grandes empresas. Ambos começam com um mercado potencial mais elevado e forças impulsionadoras da adoção (Tabela 1) e têm o maior peso na responsabilidade do uso de energia.

Finalmente, o cenário 5 apresenta resultados nos quais todas as políticas são consideradas, mas com um mercado potencial constante. Assim, na Figura 4, seus resultados mostram um comportamento em forma de S (exceto no caso da Figura 4c) até 2040, representando um fim próximo da sua difusão. No entanto, se tal abordagem de análise for considerada, um total de 25 mil indústrias seriam certificadas até 2040 (4d), quase 5 mil atrás de seu mercado potencial total e após aproximadamente 30 anos de difusão (2011-2040). A Figura 5 apresenta a proporção de mercado alcançada pela certificação ISO 50001 em cada tamanho de segmento e os resultados totais em cada cenário. Se as pressões coercivas das partes interessadas persistirem baixas para impulsionar as estratégias de gestão de energia, os potenciais adotantes alcançados serão aproximadamente a metade do mercado potencial (modo de referência) até 2040. Isso aponta para a urgência de políticas e incentivos nacionais adicionais.



**Figura 5.** Mercado potencial certificado pela ISO 50001 no final do período de simulação, 2040.

**Fonte:** Elaborado pelos autores, 2018.

Os resultados das simulações indicam que, até 2040, a maioria do mercado das indústrias de grande porte implementará a certificação, com uma média destacada de 94%, quando considerados todos os cenários avaliados. O mínimo é identificado pelas pequenas empresas, com uma média de 36% e as médias empresas com 68%. Em relação ao número total de indústrias, tal valor é de 64%.

Um destaque relevante da Figura 5 é a importância de uma maior pressão coerciva para que as pequenas empresas obtenham as certificações. Somente quando estratégias que promovam treinamentos e incentivos fiscais ocorressem, esse segmento ultrapassaria 50% de chances de atingir seu mercado. Por outro lado, a pressão coerciva agressiva testada neste estudo acaba por não ser tão relevante, já que as grandes empresas são mais prováveis e têm mais capacidades para endossar essa certificação. Mesmo sem políticas, os resultados mostram uma conquista de mercado de 90% para grandes indústrias até 2040. Assim, mesmo que a implicação por trás da política seja agressiva, no final ela não se expressa em conformidade.

Se formos além da nossa consideração de pressões coercivas em diferentes tamanhos de mercado, um caso na China mostrou que as iniciativas governamentais que consideram as empresas de acordo com sua intensidade de uso de energia refletem melhorias no consumo de energia. Em 2006, a China lançou o programa Top-1000 visando às 1000 empresas do maior consumo de energia do país (que responderam por quase metade do consumo de energia industrial e cerca de um terço da energia total da China) (Price, Wang, & Yun, 2010). No ano seguinte, o país também revisou a Lei de Conservação de Energia. Ambas as iniciativas visaram melhorar a eficiência energética, alcançando uma redução de energia por unidade do PIB de aproximadamente 19% entre os anos de 2006 e 2010 (Ke et al., 2012). As metas de eficiência energética foram incorporadas em suas avaliações de desempenho por gestores de empresas e resultaram em um impacto de sucesso maior do que o esperado do programa. A sua expansão forçou mais de 16.000 empresas a alcançar o objetivo de poupar energia (IEA, 2015).

Os números da economia de energia levaram a China a uma posição de liderança nos países da Agência Internacional de Energia, ao mesmo tempo em que mostrou uma redução de energia de cerca de 14%. Nesse contexto, podemos afirmar o papel relevante que o governo tem na adoção de estratégias verdes pelas organizações. A certificação ISO 50001 é uma estratégia-chave para as indústrias e, portanto, deve ser ainda mais encorajada através de programas nacionais para trazer mudanças na gestão e gerar resultados significativos ao longo do tempo.

#### 4. CONCLUSÕES

Por meio de um modelo de dinâmica de sistemas baseado na teoria da difusão de Bass, foram investigadas as pressões das partes interessadas e sua influência na difusão da certificação EnMS - ISO 50001 em empresas de diferentes tamanhos. Foi proposta uma extensão ao modelo Bass, no que diz respeito às forças motrizes da difusão, ou seja, além da adoção por inovação e imitação, foi considerada uma adoção por relação de mercado. Com isso, as características de cada tipo de indústria em seu padrão de processo de adoção poderiam ser avaliadas individualmente.

Com o pressuposto de que as indústrias de pequeno porte são, a menos que haja incentivos, induzidas a adquirir a certificação somente por meio da relação com o mercado, esse segmento foi mais influenciado pelas pressões das partes interessadas testadas. Os programas nacionais que os induzem a imitar seus pares, como o treinamento para a gestão de energia, aceleram seu envolvimento com o assunto. Além disso, as políticas que criam assistência financeira também podem trazer resultados consideráveis. Outras políticas poderiam ser testadas e consideradas, mas o destaque é que encurtar a distância entre o completo desinteresse (ou incapacidade) e a total consciência é uma forma de superar números baixos e suas poucas perspectivas.

Por outro lado, as perspectivas das grandes indústrias são mais proeminentes a adotar, mesmo com a falta de mais pressão coerciva. Elas têm mais pessoal e capacidade de recursos e são influenciadas por todas as forças impulsionadoras da adoção. Políticas e incentivos podem estimular a sua adoção, tais como a política agressiva testada, na qual seriam obrigadas a obter a certificação ISO 50001 a partir de 2030. No entanto, mesmo que essa política agressiva e obrigatória ocorra, o resultado não é substancial como se poderia pensar. Em 2040, esse segmento seria, sem dúvida, 100% do seu mercado, mas sem ele ainda atingiriam um número elevado de mais de 90%. O que acontece é que ela chega ao seu mercado completo mais rapidamente, mas talvez não seja necessário propor uma política tão rigorosa como essa, outros tipos de incentivos poderiam satisfazer o objetivo.

Políticas integradas parecem ser a forma de influenciar plenamente todos os tamanhos de indústrias e fornecer resultados sinérgicos. Uma certeza permanece: mais programas nacionais

devem ser encorajados se o país quiser ajudar as indústrias a se desenvolverem de forma mais eficiente. Embora a política agressiva testada em grandes empresas não seja particularmente apoiada, estudos adicionais poderiam procurar outras estratégias para acelerar o seu envolvimento com a gestão de energia, uma vez que elas representam potencialmente um maior peso do uso de energia na sua produção.

Outra abordagem para pesquisas posteriores seria verificar se de fato as forças de relação com o mercado têm maior influência na adoção da certificação EnMS do ponto de vista das empresas. Sugerimos que uma abordagem de pesquisa de opinião poderia ser feita para esse fim, com diferentes empresas envolvidas na cadeia de suprimentos. Através da mesma pesquisa, as outras forças motrizes também poderiam ser verificadas, assim como a coleta de resultados incisivos sobre a força que diferentes políticas poderiam ter na sua decisão de adotar a ISO 50001.

Uma limitação deste estudo diz respeito aos números de adoção inicial para cada tamanho de indústria. Embora o número total, utilizado na correspondência histórica ISO 9001 e na investigação de difusão ISO 50001, seja um número conhecido, sua proporção inicial por tamanho de segmento foi baseada em suposições. Apesar de se acreditar que a proporção adotada é razoável, e o objetivo principal não era o número previsto de indústrias certificadas, essa limitação poderia refletir sobre os resultados se a precisão for pretendida.

Além disso, não foram consideradas mudanças nas forças motrizes dos fatores  $p$ ,  $q$  e  $mr$  ao longo do tempo. Os incentivos e as políticas podem acabar por aumentar um pouco a sua taxa, o que aceleraria a sua aceitação (ou vice e vice-versa). Apenas no cenário 3 é que esses fatores foram aumentados para efeitos de adequação por parte de empresas maiores. No entanto, além disso, as taxas permaneceram as mesmas, e as atenções foram trazidas na ativação de diferentes forças de adoção de acordo com as políticas envolvidas.

Esta investigação permite aos decisores políticos considerar diferentes tipos de políticas nacionais e incentivos para a divulgação da ISO 50001. Ela pode fornecer implicações tanto para a indústria quanto para os governos e, em última análise, compreender como as diferentes estratégias e pressões dos programas podem afetar indústrias de diferentes tamanhos e melhorar o desenvolvimento da eficiência energética. Tal entendimento pode promover a difusão da ISO 50001 permitindo uma reflexão significativa sobre as emissões globais de GEE, ajudando a combater as alterações climáticas. Como não há programas de apoio à ISO 50001 no Brasil, esta pesquisa pode contribuir para a tomada de decisões futuras, indicando como diferentes ações podem impactar a adoção do EnMS. Finalmente, ajuda a sugerir caminhos para a melhoria da eficiência energética e redução da pegada de carbono das indústrias, uma vez que o governo já demonstrou interesse nos princípios da ISO 50001, apontando-a como uma das ações-chave para a eficiência energética na indústria. Os resultados vão além da redução das emissões de GEE, refletindo na redução dos custos operacionais da empresa, no consumo de energia e nos ganhos de produtividade, gerando maior competitividade empresarial.

## REFERÊNCIAS

- ABESCO. (2018). ISO 50001 - Gestão de Energia. Retrieved 14 apr, 2018, from <http://www.abesco.com.br/pt/iso-50001-gestao-de-energia/>
- Baek, Kyungmin. (2017). The Diffusion of Voluntary Environmental Programs: The Case of ISO 14001 in Korea, 1996–2011. *Journal of Business Ethics*, 145(2), 325-336. <http://dx.doi.org/10.1007/s10551-015-2846-3>

- Ball, A., & Craig, R. (2010). Using neo-institutionalism to advance social and environmental accounting. *Critical Perspectives on Accounting*, 21(4), 283-293. doi: 10.1016/j.cpa.2009.11.006
- Bass, Frank M. (1969). A New Product Growth for Model Consumer Durables. *Management Science*, 15(5), 215-227. doi: <http://dx.doi.org/10.1287/mnsc.15.5.215>
- Battisti, Martina, & Perry, Martin. (2011). Walking the talk? Environmental responsibility from the perspective of small-business owners. *Corporate Social Responsibility and Environmental Management*, 18(3), 172-185. doi: <http://dx.doi.org/10.1002/csr.266>
- Bertotti, M. L., Brunner, J., & Modanese, G. (2016). Innovation diffusion equations on correlated scale-free networks. *Physics Letters A*, 380(33), 2475-2479. <http://dx.doi.org/10.1016/j.physleta.2016.06.003>
- Brasil. (2019). Plano Decenal de Expansão de Energia 2029. Retrieved 12 dec, 2019, from Ministério de Minas e Energia: Empresa de Pesquisa Energética <http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-422/PDE%202029.pdf>
- Campos, Lucila M. S. (2012). Environmental management systems (EMS) for small companies: a study in Southern Brazil. *Journal of Cleaner Production*, 32, 141-148. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.03.029>
- Ciarli, Tommaso, Coad, Alex, & Rafols, Ismael. (2016). Quantitative analysis of technology futures: A review of techniques, uses and characteristics. *Science and Public Policy*, 43(5), 630-645. <http://dx.doi.org/10.1093/scipol/scv059>
- Daim, Tugrul U., Iskin, Ibrahim, & Ho, Daniel. (2011). Technology forecasting for residential energy management devices. *Foresight*, 13(6), 70-87. <http://dx.doi.org/10.1108/14636681111179609>
- Darnall, Nicole. (2006). Why firms mandate ISO 14001 certification. *Business and Society*, 45(3), 354-381. <http://dx.doi.org/10.1177/0007650306289387>
- Darnall, Nicole, Henriques, Irene, & Sadorsky, Perry. (2008). Do environmental management systems improve business performance in an international setting? *Journal of International Management*, 14(4), 364-376. <https://doi.org/10.1016/j.intman.2007.09.006>
- Delmas, Magali A., & Montes-Sancho, Maria J. (2011). An Institutional Perspective on the Diffusion of International Management System Standards: The Case of the Environmental Management Standard ISO 14001. *Business Ethics Quarterly*, 21(1), 103-132. <http://dx.doi.org/10.1017/S1052150X00010289>
- DiMaggio, Paul J., & Powell, Walter W. (1983). The Iron Cage Revisited: Institutional Isomorphism and Collective Rationality in Organizational Fields. *American Sociological Review*, 48(2), 147-160. <http://dx.doi.org/10.2307/2095101>
- Energy. (2018). Federal Energy Management Program Training. Retrieved 14 april, 2018, from <https://www.energy.gov/eere/femp/federal-energy-management-program-training>
- Energy Institute. (2018). Energy Institute. Retrieved 14 april, 2018, from <https://www.energyinst.org/about-us>
- Graafland, Johan J. (2018). Ecological impacts of the ISO14001 certification of small and medium sized enterprises in Europe and the mediating role of networks. *Journal of Cleaner Production*, 174, 273-282. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.10.322>
- Henriques, I., & Sadorsky, P. (2013). Environmental management practices and performance in Canada. *Canadian Public Policy*, 39(Suppl. 2), S157-S175. <http://dx.doi.org/10.3138/cpp.39.Supplement2.S157>

- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2018). Pesquisa Industrial Anual. Retrieved 14 Feb 2018, from <https://www.ibge.gov.br/estatisticas-novoportal/economicas/industria/9042-pesquisa-industrial-anual.html?&t=downloads>
- IEA - International Energy Agency. (2013). Tracking Clean Energy Progress 2013. Retrieved 17 April 2018, from <https://webstore.iea.org/tracking-clean-energy-progress-2013>
- IEA. (2015). Energy and Climate Change. World Energy Outlook Special Report, 1-200. <http://dx.doi.org/10.1038/479267b>
- ISO. (2011). ISO launches ISO 50001 energy management standard. Retrieved April 10 2018, from <https://www.iso.org/news/2011/06/Ref1434.html>
- ISO. (2017). ISO Survey of certifications to management system standards - Full results. Retrieved April 10, 2018 <https://isotc.iso.org/livelink/livelink?func=ll&objId=18808772&objAction=browse&viewType=1>
- Jabbour, Ana Beatriz Lopes de Sousa, Verdério Júnior, Sílvio Aparecido, Jabbour, Charbel José Chiappetta, Leal Filho, Walter, Campos, Lucila S., & De Castro, Rosani. (2017). Toward greener supply chains: is there a role for the new ISO 50001 approach to energy and carbon management? *Energy Efficiency*, 10(3), 777-785. <http://dx.doi.org/10.1007/s12053-016-9478-z>
- Jovanović, Bojana, & Filipović, Jovan. (2016). ISO 50001 standard-based energy management maturity model - Proposal and validation in industry. *Journal of Cleaner Production*, 112, 2744-2755. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.10.023>
- Kanneganti, Harish, Gopalakrishnan, Bhaskaran, Crowe, Ed, Al-Shebeeb, Omar, Yelamanchi, Tarun, Nimbarte, Ashish, . . . Abolhassani, Amir. (2017). Specification of energy assessment methodologies to satisfy ISO 50001 energy management standard. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 23, 121-135. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2017.09.003>
- Ke, Jing, Price, Lynn, Ohshita, Stephanie, Fridley, David, Khanna, Nina Zheng, Zhou, Nan, & Levine, Mark. (2012). China's industrial energy consumption trends and impacts of the Top-1000 Enterprises Energy-Saving Program and the Ten Key Energy-Saving Projects. *Energy Policy*, 50, 562-569. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2012.07.057>
- Kilbourne, W. E., Beckmann, S. C., & Thelen, E. (2002). The role of the dominant social paradigm in environmental attitudes: a multinational examination. *Journal of Business Research*, 55(3), 193-204. [https://doi.org/10.1016/S0148-2963\(00\)00141-7](https://doi.org/10.1016/S0148-2963(00)00141-7)
- Lira, Jean, Salgado, Eduardo, Beijo, Luiz. (2019). Which factors does the diffusion of ISO 50001 in different regions of the world is influenced?. *Journal of Cleaner Production*, 226, 759-767. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.127>
- Mahajan, Vijay, Muller, Eitan, & Bass, Frank M. (1990). New Product Diffusion Models in Marketing: A Review and Directions for Research. *Journal of Marketing*, 54(1), 1-1. <http://dx.doi.org/10.2307/1252170>
- Masocha, R., & Fatoki, O. (2018). The role of mimicry isomorphism in sustainable development operationalisation by SMEs in South Africa. *Sustainability (Switzerland)*, 10(4). <http://dx.doi.org/10.3390/su10041264>
- McKane, Aimee, Therkelsen, Peter, Scodel, Anna, Rao, Prakash, Aghajanzadeh, Arian, Hirzel, Simon, . . . O'Sullivan, John. (2017). Predicting the quantifiable impacts of ISO 50001 on climate change mitigation. *Energy Policy*, 107, 278-288. <http://dx.doi.org/https://doi.org/10.1016/j.enpol.2017.04.049>

- MMA - Ministério do Meio Ambiente do Brasil. (2016). Mundo firma pacto contra aquecimento global. Retrieved 17 April, 2018, from <http://www.mma.gov.br/index.php/comunicacao/agencia-informma?view=blog&id=1548>
- Nicole, Darnall, Irene, Henriques, & Perry, Sadorsky. (2010). Adopting Proactive Environmental Strategy: The Influence of Stakeholders and Firm Size. *Journal of Management Studies*, 47(6), 1072-1094. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1467-6486.2009.00873.x>
- Oliveira, Otávio José de, & Serra, José Roberto. (2010). Benefícios e dificuldades da gestão ambiental com base na ISO 14001 em empresas industriais de São Paulo. *Production*, 20(3), 429-438. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-65132010005000013>
- Pham, T. H. H. (2015). Energy management systems and market value: Is there a link? *Economic Modelling*, 46, 70-78. <http://dx.doi.org/10.1016/j.econmod.2014.12.038>
- Phan, Thanh Nguyet, & Baird, Kevin. (2015). The comprehensiveness of environmental management systems: The influence of institutional pressures and the impact on environmental performance. *Journal of Environmental Management*, 160, 45-56. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2015.06.006>
- Pombo, F. R., & Magrini, A. (2008). An overview of the application of ISO 14001 in Brazil. *Gestao e Producao*, 15(1), 1-10.
- Price, Lynn, Wang, Xuejun, & Yun, Jiang. (2010). The challenge of reducing energy consumption of the Top-1000 largest industrial enterprises in China. *Energy Policy*, 38(11), 6485-6498. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2009.02.036>
- Sarkis, Joseph, Gonzalez-Torre, Pilar, & Adenso-Diaz, Belarmino. (2010). Stakeholder pressure and the adoption of environmental practices: The mediating effect of training. *Journal of Operations Management*, 28(2), 163-176. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jom.2009.10.001>
- Sarkis, J., Zhu, Q., & Lai, K. H. (2011). An organizational theoretic review of green supply chain management literature. *International Journal of Production Economics*, 130(1), 1-15. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpe.2010.11.010>
- Sterman, John D. (2000). *Business Dynamics : Systems Thinking and Modeling for a Complex World*. Irwin/McGraw-Hill. Boston, Mass, 928-928.
- Sterman, John D., Oliva, Rogelio, Linderman, Kevin, & Bendoly, Elliot. (2015). System dynamics perspectives and modeling opportunities for research in operations management. *Journal of Operations Management*, 39-40, 1-5. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jom.2015.07.001>
- Stevens, P. A., Batty, W. J., Longhurst, P. J., & Drew, G. H. (2012). A critical review of classification of organisations in relation to the voluntary implementation of environmental management systems. *Journal of Environmental Management*, 113, 106-212. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2012.08.037>
- Sultan, F., Farley, J.U., & Lehmann, D. R. (1990). A meta-analysis of applications of diffusion models. *Journal of Marketing Research*, 27(1), 70-77.
- Testa, F., Boiral, O., & Iraldo, F. (2018). Internalization of environmental practices and institutional complexity: Can stakeholders pressures encourage greenwashing? *Journal of Business Ethics*, 147(2), 287-307. <http://dx.doi.org/10.1007/s10551-015-2960-2>
- Villena, Verónica H., & Gioia, Dennis A. (2018). On the riskiness of lower-tier suppliers: Managing sustainability in supply networks. *Journal of Operations Management*. <https://doi.org/10.1016/j.jom.2018.09.004>

- Wu, T., Daniel, E. M., Hinton, M., & Quintas, P. (2013). Isomorphic mechanisms in manufacturing supply chains: A comparison of indigenous Chinese firms and foreign-owned MNCs. *Supply Chain Management*, 18(2), 161-177. <http://dx.doi.org/10.1108/13598541311318809>
- Yang, M., & Hyland, M. A. (2012). Re-examining mimetic isomorphism: Similarity in mergers and acquisitions in the financial service industry. *Management Decision*, 50(6), 1076-1095. <http://dx.doi.org/10.1108/00251741211238346>
- Zhu, Q., & Sarkis, J. (2007). The moderating effects of institutional pressures on emergent green supply chain practices and performance. *International Journal of Production Research*, 45(18-19), 4333-4355. <http://dx.doi.org/10.1080/00207540701440345>
- Zhu, Q., Tian, Y., & Sarkis, J. (2012). Diffusion of selected green supply chain management practices: An assessment of Chinese enterprises. *Production Planning and Control*, 23(10-11), 837-850. <http://dx.doi.org/10.1080/09537287.2011.642188>
- Zhu, Q., Sarkis, J., & Lai, K-H. (2008). Confirmation of a measurement model for green supply chain management practices implementation. *International Journal of Production Economics*, 111(2), 261-273. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2006.11.029>

#### CONTRIBUIÇÕES DE AUTORIA

CR – O autor idealizou o estudo e contribuiu para a definição do objetivo do estudo, pesquisa bibliográfica, desenho do estudo, coleta de dados, análise e interpretação dos dados. O autor esteve envolvido na redação do artigo e na revisão crítica do mesmo.

LB – O autor contribuiu para a definição do objetivo do estudo, pesquisa bibliográfica, desenho do estudo, coleta de dados, análise e interpretação dos dados. O autor esteve envolvido na redação do artigo e na revisão crítica do mesmo.

LC – O autor esteve envolvido na redação do artigo e na revisão crítica do mesmo.

MU – O autor esteve envolvido na revisão do rascunho, bem como das equações modelo.

#### FINANCIAMENTO

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal do Ensino Superior (CAPES) pelo apoio financeiro.