

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO SOCIOECONÔMICO – CSE
DEPARTAMENTO DE ECONOMIA E RELAÇÕES INTERNACIONAIS - CNM
CURSO DE GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS ECONÔMICAS

Milena Isabeli Duarte

**RELAÇÃO CAUSAL ENTRE CRESCIMENTO ECONÔMICO E CONSUMO DE
ENERGIA ELÉTRICA NOS MUNICÍPIOS DO ESTADO DE SANTA CATARINA NO
PERÍODO DE 2002 A 2019**

Florianópolis

2022

Milena Isabeli Duarte

**RELAÇÃO CAUSAL ENTRE CRESCIMENTO ECONÔMICO E CONSUMO DE
ENERGIA ELÉTRICA NOS MUNICÍPIOS DO ESTADO DE SANTA CATARINA NO
PERÍODO DE 2002 A 2019**

Trabalho Conclusão do Curso submetido ao Curso de Graduação em Ciências Econômicas da Universidade Federal de Santa Catarina, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharela em Economia.
Orientador: Prof. Dr. Guilherme de Oliveira.

Florianópolis

2022

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Duarte, Milena Isabeli

Relação causal entre crescimento econômico e consumo de energia elétrica nos municípios do estado de Santa Catarina no período de 2002 a 2019 / Milena Isabeli Duarte ; orientador, Guilherme de Oliveira, 2022.

52 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Sócio Econômico, Graduação em Ciências Econômicas, Florianópolis, 2022.

Inclui referências.

1. Ciências Econômicas. 2. Crescimento Econômico. 3. Causalidade. 4. Consumo de energia elétrica e PIB. I. Oliveira, Guilherme de. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em Ciências Econômicas. III. Título.

Milena Isabeli Duarte

**RELAÇÃO CAUSAL ENTRE CRESCIMENTO ECONÔMICO E CONSUMO
DE ENERGIA ELÉTRICA NOS MUNICÍPIOS DO ESTADO DE SANTA CATARINA
NO PERÍODO DE 2002 A 2019**

Florianópolis, 03 de março de 2022.

O presente Trabalho de Conclusão de Curso foi avaliado e aprovado pela banca examinadora composta pelos seguintes membros:

Prof. Guilherme de Oliveira, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof.(a) Liana Bohn, Dr.(a)
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Pedro Costa Einloft, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina

Certifico que esta é a **versão original e final** do Trabalho de Conclusão de Curso que foi julgado adequado para obtenção do título de Bacharel em Economia por mim e pelos demais membros da banca examinadora.

Prof. Guilherme de Oliveira, Dr.
Orientador

Florianópolis, 2022.

Dedico este trabalho aos meus tios Valter Luiz Montibeler (in memoriam) e Maria Leticia Duarte Montibeler, por não medirem esforços para lutar e incentivar a minha educação e pelo meu querido pai por confiar nas minhas escolhas.

AGRADECIMENTOS

Assim como disse John Ruskin “A maior recompensa para o trabalho do homem não é o que ele ganha com isso, mas o que ele se torna com isso.” A conclusão desta etapa representa a realização de um sonho em se tornar economista de formação, para qual foram necessárias muita persistência, paciência e coragem. Sozinha eu não conseguiria!

Agradeço aos meus tios, Valter Luiz Montibeler (in memoriam) e Maria Leticia Duarte Montibeler, e primo Thiago Montibeler por não medirem esforços para lutar e incentivar a minha educação, obrigada por todo apoio e incentivo. E ao meu pai por confiar nas minhas escolhas.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Guilherme de Oliveira, pelos ensinamentos e apoio na construção deste trabalho. Muito obrigada pela paciência e disponibilidade irrestrita, sua motivação é contagiante.

A todos os professores do curso de Ciências Econômicas da UFSC, que contribuem diariamente para a formação de indivíduos pensantes e críticos e pela disseminação do conhecimento de qualidade.

A UFSC pela instituição que é, e por ter me proporcionado este curso e me oferecido um ambiente propício para o meu desenvolvimento profissional.

RESUMO

Duarte, Milena. I. **Relação causal entre crescimento econômico e consumo de energia elétrica nos municípios do estado de Santa Catarina no período de 2002 a 2019**. Monografia apresentada ao Curso de Ciências Econômicas da Universidade Federal de Santa Catarina, 2022. p. 52.

O trabalho tem como objetivo geral examinar as relações de causalidade entre crescimento econômico e consumo de energia elétrica nos municípios catarinenses entre os anos de 2002 a 2019. Para tal análise, foi realizada uma revisão da literatura que estabelece a relação entre crescimento econômico e consumo de energia. Por meio da estimação de testes de causalidade de Granger em painel homogêneo e heterogêneo para uma amostra de 262 municípios afim de verificar a relação causal entre as variáveis PIB *per capita* e consumo de energia elétrica *per capita* de Santa Catarina/SC como um todo e nas seis mesorregiões catarinenses. Os resultados sugerem ausência de causalidade para o estado tratando as mesorregiões como iguais. Por outro lado, o teste de causalidade heterogênea sugere causalidade bidirecional entre as variáveis PIB *per capita* e consumo de energia elétrica *per capita*. Contudo, as evidências de causalidade variam de local para local em todos os subgrupos das mesorregiões da amostra.

Palavras-chave: Consumo de energia e PIB; Causalidade de Granger em painel; Crescimento econômico.

ABSTRACT

The general objective of this work is to examine the causal relationships between economic growth and electricity consumption in Santa Catarina municipalities between the years 2002 to 2019. For this analysis, a literature review was carried out that establishes the relationship between economic growth and consumption of electricity. energy. Through the estimation of Granger causality tests in a homogeneous and heterogeneous panel for a sample of 262 municipalities in order to verify the causal relationship between the variables GDP per capita and per capita electricity consumption in Santa Catarina/SC as a whole and in the six Santa Catarina mesoregions. The results suggest the absence of causality for the state treating the mesoregions as equals. On the other hand, the heterogeneous causality test suggests bidirectional causality between the variables GDP per capita and per capita electricity consumption. However, evidence of causality varies from location to location in all subgroups of the sample mesoregions.

Keywords: Energy consumption and GDP; Granger causality in panel data; Economic growth.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1: Histograma de frequência do comportamento do Consumo de Energia Elétrica *per capita* catarinense no ano de 2002 à esquerda e no ano de 2019 à direita 28
- Figura 2: Histograma de frequência do comportamento do PIB per capita catarinense no ano de 2002 à esquerda e no ano de 2019 à direita 30

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Descrição das metodologias dos estudos da literatura empírica	21
Quadro 2 - Síntese dos testes de causalidade homogênea e heterogênea para o estado de Santa Catarina entre os anos de 2002 e 2019	45

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Ranking do Consumo de Energia Elétrica <i>per capita</i> e Produto Interno Bruto <i>per capita</i> dos Municípios Catarinenses no Ano de 2019	26
Tabela 2: Medidas de Tendência Centrais do Consumo de Energia Elétrica <i>per capita</i> e Produto Interno Bruto <i>per capita</i> no Ano de 2019	27
Tabela 3: Resultados dos testes de causalidade homogênea e heterogênea de Granger em painel para a amostra completa das mesorregiões catarinenses entre 2002 e 2019	37
Tabela 4: Resultados dos testes de causalidade homogênea e heterogênea de Granger em painel para a amostra da mesorregião Oeste catarinenses entre 2002 e 2019	39
Tabela 5: Resultados dos testes de causalidade homogênea e heterogênea de Granger em painel para a amostra da mesorregião Norte catarinenses entre 2002 e 2019	40
Tabela 6: Resultados dos testes de causalidade homogênea e heterogênea de Granger em painel para a amostra da mesorregião Serrana catarinenses entre 2002 e 2019	41
Tabela 7: Resultados dos testes de causalidade homogênea e heterogênea de Granger em painel para a amostra da mesorregião da Grande Florianópolis entre 2002 e 2019	42
Tabela 8: Resultados dos testes de causalidade homogênea e heterogênea de Granger em painel para a amostra da mesorregião do Vale do Itajaí entre 2002 e 2019	43
Tabela 9: Resultados dos testes de causalidade homogênea e heterogênea de Granger em painel para a amostra da mesorregião Sul catarinenses entre 2002 e 2019	44

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CELESC - Centrais Elétricas de Santa Catarina S.A

FEMSA – Fomento Econômico Mexicano, S.A.B. de C.V.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IPCA - Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo

MWh - Megawatt-Hora

OCDE - Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico

PIB - Produto Interno Bruto

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	OBJETIVOS	15
1.1.1	Objetivo geral.....	16
1.1.2	Objetivos específicos.....	16
1.2	DELINEAMENTO DA PESQUISA.....	16
1.3	ESTRUTURA DA MONOGRAFIA.....	17
2	RELAÇÕES DE CAUSALIDADE ENTRE CRESCIMENTO ECONÔMICO E CONSUMO DE ENERGIA	18
3	ECONOMIA DA ENERGIA E O DESEMPENHO ECONÔMICO EM SANTA CATARINA	25
4	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	32
4.1	BASE DE DADOS	34
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	36
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	46
	REFERÊNCIAS.....	48

1 INTRODUÇÃO

O consumo de energia é intrínseco ao desenvolvimento econômico e humano. Em especial, o acesso à energia elétrica é essencial para a provisão das necessidades básicas que podem estimular o crescimento econômico de maneira sustentável ao longo do tempo. Ao mesmo tempo, o próprio crescimento econômico pode ser capaz de criar o estímulo necessário para uma expansão persistente do consumo de energia. Este estudo analisa o relacionamento entre consumo de energia elétrica e o crescimento econômico em um contexto regional.

Interpretações históricas sugerem que as fontes de energia podem transformar países individuais em grandes potências mundiais. A Inglaterra, com o desenvolvimento baseado no carvão, por exemplo, liderou a Primeira Revolução Industrial. Os Estados Unidos no século XX, com o surgimento dos motores à explosão, a partir do aproveitamento energético do petróleo, tornou-se a maior potência do mundo (GOMES NETO, 2005).

Na literatura econômica que analisa o relacionamento entre o consumo de energia e crescimento econômico, a ordem de causalidade é uma questão em aberto. As hipóteses teóricas associadas à relação de causalidade entre essas variáveis enquadram-se em quatro tipos, dependendo de sua direção, sendo elas: Hipótese de crescimento; hipótese de conservação; hipótese de feedback e a hipótese de neutralidade.

A hipótese de crescimento implica em uma relação de causalidade unidirecional do consumo de energia para o crescimento econômico, onde a oferta de energia sustenta o crescimento econômico. A hipótese de conservação indica causalidade unidirecional do crescimento econômico para o consumo de energia e sugere que as políticas públicas de conservação de energia têm pouco ou nenhum efeito sobre o crescimento econômico. Já a hipótese de *feedback* aponta uma relação de bi-causalidade, ou seja, estipula-se uma interdependência entre crescimento econômico e consumo de energia. Por fim, a hipótese de neutralidade sugere a inexistência de relações causais entre as variáveis, em que há inexistência de um papel fundamental do consumo de energia e seus efeitos no crescimento econômico e vice e versa.

Um dos indicadores de crescimento de um país é o produto interno bruto, usado para medir a atividade econômica. Kraft e Kraft (1978) foram os primeiros a estudar a relação entre consumo de energia e crescimento econômico. Buscaram verificar a existência ou não de causalidade entre as duas variáveis na economia dos Estados Unidos no período de 1947 a 1974,

utilizando teste de causalidade de Granger. O resultado detectado foi a existência de causalidade partindo do produto para o consumo de energia, e não o contrário.

Desde então, essa literatura empírica expandiu-se consideravelmente. Chien-Chiang Lee (2005), por exemplo, estuda a relação de causalidade entre consumo de energia e PIB em 18 países em desenvolvimento entre 1975 e 2001. São empregados testes de raiz unitária em painel, cointegração heterogênea e modelos de correção de erro em painel. A conclusão do estudo fornece evidência de causalidades de longo e curto prazo que vão do consumo de energia para o PIB, mas não vice-versa. Esse resultado implica que a conservação do consumo de energia pode prejudicar o crescimento econômico nos países em desenvolvimento, independentemente de ser transitória ou permanente.

Os autores Chontanawat, Hunt e Pierse (2008), realizaram um estudo para 100 países no período entre 1976 e 2000. Analisando as relações de causalidade entre PIB e consumo de energia, identificou para o Brasil, uma relação de cointegração entre energia e PIB, evidenciando causalidade do consumo de energia para o PIB. Ao seu turno, Gadelha e Cerqueira (2014) examinaram a relação de causalidade entre o consumo de eletricidade e crescimento econômico no Brasil durante o período de 1952 a 2010, por meio de análise de causalidade de Granger (1969) bivariado e cointegrado. Os resultados obtidos indicam que o Brasil se enquadra na Hipótese de Crescimento. Empiricamente, verifica-se a existência de relação de causalidade de Granger unidirecional do consumo de energia elétrica para o crescimento econômico, sugerindo que o consumo de energia elétrica é um fator limitante para o crescimento econômico, de modo que choques adversos em relação à eletricidade terão um impacto negativo no crescimento econômico brasileiro (GADELHA; CERQUEIRA, 2014).

No Brasil, há uma grande variedade cultural, social, econômica e climática, o que faz com que a população naturalmente apresente diferentes hábitos com relação ao consumo de energia elétrica. O consumo de energia tende a seguir a atividade econômica, dado que a eletricidade é tomada nas mais variadas atividades econômicas (DESTEK; SINHA, 2020). Apesar de sua relevância, estudos empíricos que abordam o tema consumo de energia elétrica e crescimento econômico de forma específica para o território brasileiro ainda são escassos na literatura e tem como foco principal análises agregadas a nível nacional. A contribuição do presente estudo é analisar essas relações de causalidade a partir de uma perspectiva regional para os municípios do estado de Santa Catarina.

O estado catarinense tem como característica uma grande diversificação econômica e geográfica, o que gera o desenvolvimento de inúmeras atividades, que variam da agricultura ao turismo. Santa Catarina é o quarto maior PIB *per capita* em nível nacional. (IBGE, 2019; SANTA CATARINA, 2020).

A dinâmica das atividades produtivas entre as regiões do estado é impulsionada pelo setor agroindustrial na mesorregião Oeste, agropecuário na mesorregião Serrana e Sul, industrial na mesorregião do Vale do Itajaí e no Norte Catarinense. A grande Florianópolis é a mesorregião que se destaca em serviços. Todas as regiões são dependentes do fornecimento de energia elétrica. Sob essa perspectiva, saber a ordem de causalidade entre as variáveis PIB *per capita* e Consumo de energia elétrica *per capita* é viável tanto para a formulação das políticas públicas como previsões dos níveis de atividades econômicas no estado.

Em Santa Catarina a maior empresa de distribuição e comercialização de energia elétrica é a CELESC (Centrais Elétricas de Santa Catarina S.A.) que fornece energia do tipo cativo e livre para as classes residencial, industrial, comercial, rural, poder público, serviço público, iluminação pública, próprio e revenda. De acordo com a concessionária 262 municípios catarinenses foram contemplados com a distribuição de energia, com cerca de 2,5 milhões de unidades consumidoras totalizando 92% do território do estado (CELESC, 2019). Para este estudo foram considerados o tipo cativo para as classes residencial, industrial, comercial, rural, poder público e serviço público.

Diante do exposto, o presente estudo visa responder a seguinte questão: Qual a ordem de causalidade entre crescimento econômico e consumo de energia elétrica nos municípios de Santa Catarina?

Com o propósito de responder esta questão serão empregados um modelo de regressão com dados em painel utilizando como variáveis o PIB *per capita* como medida de crescimento econômico e o consumo de energia elétrica mensurado em termos de Megawatt-hora (MWh) para investigar a relação causal entre as duas variáveis considerando o período de 2002 a 2019 nos municípios catarinenses.

1.1 OBJETIVOS

A presente seção descreve os objetivos da monografia.

1.1.1 Objetivo geral

Examinar as relações de causalidade entre crescimento econômico e consumo de energia elétrica nos municípios catarinenses entre os anos de 2002 a 2019.

1.1.2 Objetivos específicos

Como objetivos específicos citam-se:

- I. Revisar a literatura econômica para compreender o vínculo entre crescimento econômico e consumo de energia elétrica;
- II. Realizar um levantamento de dados secundários a respeito do consumo de energia elétrica e produto interno bruto em Santa Catarina, descrevendo suas propriedades estatísticas básicas;
- III. Aplicar um teste de causalidade em painel para verificar a ordem de causalidade entre o consumo de energia elétrica *per capita* e o produto interno bruto *per capita* nos municípios catarinenses entre 2002 e 2019.

1.2 DELINEAMENTO DA PESQUISA

A realização de uma investigação científica necessita da aplicação de uma metodologia específica ao que se propõe estudar. Para organizar um trabalho científico é imprescindível ter conhecimento dos recursos empregados que irão induzir aos resultados almejados (CERVO; BERVIAN, 1983).

Este estudo foi determinado pelo caráter descritivo, pois segundo Severino (2007), utiliza técnicas de coleta de dados e preocupar-se em analisá-los e interpretá-los. Reportando-se as formas de instrumentalização, a pesquisa bibliográfica é aquela que se realiza a partir do registro disponível, decorrente de pesquisas anteriores, em documentos, como livros, artigos, teses etc. (SEVERIVO, 2007).

O levantamento de dados, como será descrito mais adiante, foi realizado no contexto das variáveis inseridas na categoria de crescimento econômico e consumo de energia elétrica,

tendo como objetivo o alcance de informações e dados que propiciaram arquitetar relações, as quais foram essenciais para as perspectivas nos impactos econômicos. Também foi usado o método indutivo.

A abordagem foi delimitada como quantitativa. Abordagens quantitativas são frequentemente aplicadas em estudos descritivos e visam descobrir e classificar a relação entre variáveis e a relação de causalidade entre os fenômenos. No que se refere as formas operacionais, entre os materiais que foram utilizados para a pesquisa estão livros, artigos científicos, periódicos e relatórios publicados em sites governamentais e institucionais.

1.3 ESTRUTURA DA MONOGRAFIA

Além desta introdução, a presente monográfica se organiza da seguinte forma: o segundo capítulo apresenta a revisão da literatura contendo os principais conceitos sobre o tema proposto, tais como a relação causal entre consumo de energia elétrica e crescimento econômico, bem como as principais evidências empíricas reportadas nesta literatura. No terceiro capítulo serão apresentados alguns aspectos da economia de energia e o desempenho econômicos de Santa Catarina no período 2002 a 2019. No quarto capítulo, serão apresentados os métodos e técnicas utilizadas para a construção do modelo econométrico. No quinto capítulo serão apontados os resultados da análise da relação causal entre consumo de energia e crescimento econômico dos municípios de Santa Catarina e por fim, as considerações finais resultantes da análise realizada.

2 RELAÇÕES DE CAUSALIDADE ENTRE CRESCIMENTO ECONÔMICO E CONSUMO DE ENERGIA

Este capítulo revisa a literatura existente sobre crescimento econômico e consumo de energia com o objetivo de compreender a relação causal entre as duas variáveis. O nexo causal entre consumo de energia e o crescimento econômico é relevante na implementação de políticas de consumo de energia e de políticas ambientais.

A relação causal entre consumo de energia e crescimento econômico, medida pelo PIB, tem sido foco de inúmeros estudos nas últimas décadas. O uso da energia é um dos componentes importantes para o crescimento, ocasionalmente políticas públicas voltadas ao racionamento de energia para redução de consumo tem consequências econômicas negativas que afetam o desenvolvimento econômico de determinado país.

Alguns estudos empíricos indicam a existência de uma única direção de causalidade derivando da atividade econômica para o consumo de energia (KASMAN E DUMAN 2015; LEE E CHANG 2007; HUANG et al. 2008) que sugerem a hipótese de conservação. Outros estudos indicam a existência de uma unidirecionalidade partindo do consumo de energia para o crescimento econômico (APERGIS E PAYANE 2009a; LEE 2005; NARAYAN E POPP 2012) sugerindo a hipótese de crescimento. Menegaki (2011) investigou a relação entre consumo de energia renovável e crescimento econômico no período de 1997 a 2007 para países europeus. O autor aplicou um modelo de efeitos aleatórios para essa finalidade, e os resultados obtidos indicaram ausência de causalidade de Granger entre as duas variáveis, sugerindo a hipótese de neutralidade. Por fim, o estudo evidenciou uma relação bidirecional, no qual as variáveis consumo de energia e crescimento econômico são interligados (COSTANTINI E MARTINI 2010; FUINHAS E MARQUES 2012) atestando a hipótese de feedback.

Chien-Chiang Lee (2005) estuda a relação de causalidade entre consumo de energia e produto interno bruto em 18 países em desenvolvimento entre 1975 e 2001. São empregados testes de raiz unitária do painel, cointegração heterogênea de painel e modelos de correção de erro baseados em painel. A conclusão do estudo fornece causalidades de longo e curto prazo que vão do consumo de energia para o PIB, mas não vice-versa. Esse resultado implica que a conservação do consumo de energia pode prejudicar o crescimento econômico nos países em desenvolvimento, independentemente de ser transitória ou permanente.

Gadelha e Cerqueira (2013), ao analisar o Brasil como um todo, com a técnica multivariada de cointegração e causalidade de Granger entre 1952 e 2010. Usou dados do PIB real que foi deflacionado pelo Índice Geral de Preços – Disponibilidade Interna (IGP-DI), e a série do consumo total de energia elétrica expressa em termos de (GWh), que é divulgado pela Eletrobrás. Os resultados indicam que pode haver forte evidência de causalidade unidirecional do consumo de energia elétrica *per capita* para o PIB *per capita*, e que o Brasil se enquadra na hipótese de crescimento. A conclusão do estudo pelos autores é que o Brasil é um país dependente de energia elétrica, assim, políticas conservadoras de restrição sobre o consumo de energia tem efeito adverso no crescimento econômico.

Os autores Chontanawat, Hunt e Pierse (2008), realizaram um estudo para 100 países divididos em dois grupos, pertencentes à Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) e não pertencentes à OCDE no período entre 1976 e 2000. Empregando testes de estacionariedade, de cointegração e de causalidade de Hsiao, os autores concluíram que há existências denexo causal tanto para um grupo quanto para outro, do consumo de energia para o crescimento do produto. Para o Brasil, identificou relação de cointegração entre energia e PIB, sugerindo causalidade partindo do consumo de energia para o PIB (CHONTANAWAT et al, 2008).

A maior parte das conclusões dos estudos do nexocausal entre consumo de energia e crescimento econômico são baseadas em quatro hipóteses: H1: Hipótese de Crescimento; H2: Hipótese de Conservação; H3: Hipótese de Feedback e H4: Hipótese de Neutralidade.

H1: Uma relação de causalidade unidirecional do consumo de energia para o crescimento econômico. Leva em consideração que energia não é apenas um insumo para a produção de bens e serviços, energia complementa os insumos de trabalho e capital, ou seja, é a hipótese de que o consumo de energia leva ao crescimento econômico, e as políticas públicas quanto ao fornecimento de energia racionado tem efeitos sobre o crescimento econômico.

H2: É a relação de causalidade unidirecional do crescimento econômico para o consumo de energia. As políticas públicas de conservação de energia têm nenhum ou pouco efeito sobre o crescimento econômico, dessa maneira, o aumento do PIB aumenta a demanda de energia.

H3: Remete a relação de bi-causalidade. Essa hipótese remete complementaridade entre as variáveis consumo de energia e crescimento econômico, ou seja, um aumento no

crescimento econômico estimula o consumo de energia e um aumento no consumo de energia estimula o crescimento econômico.

H4: Está associada à falta de relação de causalidade. A hipótese de neutralidade ou nenhuma causalidade entre as variáveis é um cenário que favorece as políticas públicas de conservação de energia.

O Quadro 1 apresenta o resumo da literatura com diversos autores, objetivos períodos, metodologias, países, resultados e hipóteses auferidas sobre o tema consumo de energia e crescimento econômico.

Quadro 1 – Descrição das Metodologias dos Estudos da Literatura Empírica.

Autores (as)	Objetivo	Período	Local	Técnica	Resultados	Hipótese auferida
Nicholas Apergis e James E. Payne, 2009a	Examinar a relação entre consumo de energia e o crescimento econômico de seis países da América Central.	1980-2004	América Central (Costa Rica, El Salvador, Guatemala, Honduras, Nicarágua e Panamá).	Teste de heterogeneidade de cointegração em painel.	Presença de causalidade de curto e longo prazo do consumo de energia justamente ao capital e força de trabalho para o crescimento econômico.	Hipótese de crescimento.
Nadia S. Ouedraogo, 2013	Estudar a relação causal dinâmica entre consumo de energia, preço de energia e crescimento.	1980-2008	Países Africanos	Painel, cointegração de painel e testes de causalidade de Granger.	Os resultados mostraram que o PIB e o consumo de energia tendem a caminhar juntos a longo prazo. (causalidade unidirecional).	Hipótese de crescimento.
Nicholas Apergis e James E. Payne, 2009b	Examinar a relação entre consumo de energia e crescimento econômico para onze países da Comunidade de Estados Independentes.	1991-2005	Comunidade dos Estados Independentes	Teste de heterogeneidade de cointegração em painel.	Presença de causalidade unidirecional do consumo de energia para o crescimento econômico no curto prazo e causalidade bidirecional entre o consumo de energia e o crescimento econômico no longo prazo.	Hipótese de crescimento.

Continua

Continuação

Altinay e Karagol (2005)	Investigar a relação de causalidade entre consumo de eletricidade e PIB real.	1950-200	Turquia	Estimação de modelo de VAR.	Forte evidência de causalidade de Granger unidirecional do consumo de eletricidade para a renda, indicando que a oferta de eletricidade é de vital importância para atender ao crescente consumo de eletricidade e, assim, sustentar o crescimento econômico da Turquia.	Hipótese de crescimento.
Neto, Corrêa e Perobelli (2016)	Investigar a direção de causalidade entre o crescimento econômico e consumo de energia.	1970-2009	Brasil	Modelo autorregressivos vetoriais (VAR).	Resultados indicam direção de causalidade do consumo de energia para o PIB, embora a hipótese de bidirecionalidade não pode ser descartada.	Hipótese de crescimento.
Slawomir Smiech e Monika Papiez (2014)	Avaliar as ligações entre o consumo de energia e o crescimento econômico à luz do cumprimento das metas da política energética da EU estabelecidas no pacote clima e energia para 2020.	1993-2011	Países membros da EU	Métodos de análise de cluster, abordagem de causalidade do painel bootstrap de Granger.	Relação de causalidade no grupo de países com maior redução das emissões de CO ² , maior redução da intensidade energética e maior participação do consumo de energia renovável no consumo total de energia. Nos outros grupos a hipótese de neutralidade é confirmada.	Hipótese de neutralidade

Continua

Continuação

Mozumder e Marathe (2007)	Examinar a relação de causalidade entre consumo de energia <i>per capita</i> e PIB <i>per capita</i> .	1971-1999	Bangladesh	Teste de cointegração e vetor de correção de erros.	Os resultados indicaram causalidade de Granger Unidirecional do PIB <i>per capita</i> para o consumo de energia <i>per capita</i> .	Hipótese de conservação.
Adnan Kasman e Yavuz Selman Duman (2015)	Investiga o nexso causal entre consumo de energia, emissões de CO2 e crescimento econômico.	1992-2010	Novos membros da EU	Teste de raiz de unidade de painel, métodos de cointegração de painel e testes de causalidade.	Evidências de causalidade unidirecional do PIB para consumo de energia.	Hipótese de conservação.
Shahbaz, Tang e Shabbir (2011)	Reexaminar a relação entre consumo de eletricidade, crescimento e emprego em Portugal.	1971-2009	Portugal	Teste de cointegração e vetor de correção de erros.	Os resultados indicaram causalidade de Granger unidirecional do crescimento para o consumo de eletricidade.	Hipótese de conservação.
Pao (2009)	Investigar a relação entre consumo de eletricidade e crescimento econômico utilizando dados trimestrais de Taiwan.	1980-2007.	Taiwan	Modelo econométrico de espaço-estado com correção de erros.	A conclusão indicou que as variáveis não apenas são cointegradas, como há existência de uma relação de causalidade de Granger unidirecional do crescimento econômico para o consumo de eletricidade.	Hipótese de conservação.
Ansgar Belke, Frauke Dobnik e Christian Dreger (2011)	Examinar a relação de longo prazo entre o consumo de energia e o PIB incluindo os preços da energia.	1981-2007	25 países da OCDE	Testes de causalidade e cointegração de painéis.	Os testes de causalidade indicaram relação causal bidirecional entre o consumo de energia e o crescimento econômico.	Hipótese de feedback.

Continua

Continuação

Odhiambo (2009)	Examinar a relação de causalidade entre consumo de eletricidade e crescimento econômico.	1971-2006	África do Sul	Teste de causalidade de Granger.	Os resultados mostraram que existe uma relação de bi-causalidade de Granger entre as duas variáveis.	Hipótese de feedback.
Kouakou (2011)	Analisar a relação de causalidade entre a indústria de eletricidade e o crescimento econômico.	1971-2008	Costa do Marfim	Estimação de modelo de ADL com correções de erros.	O modelo revelou bi-causalidade de Granger entre consumo de eletricidade <i>per capita</i> e PIB <i>per capita</i> .	Hipótese de feedback.
Renuka Mahadevan e John Asafu-Adjaye (2007)	Reinvestiga o nexo entre consumo de energia e crescimento do PIB em 20 importadores e exportadores de energia.	1971-2002	20 importadores e exportadores de energia.	Modelo de correção de erro de painel.	Causalidade bidirecional entre o crescimento econômico e o consumo de energia dos países desenvolvidos no curto e longo prazo. E nos países em desenvolvimento o consumo de energia estimula o crescimento econômico apenas no curto prazo.	Hipótese de feedback.
Payne (2009)	Investigar a natureza da relação entre consumo de energia renovável e não renovável.	1949-2006	Estados Unidos	Teste de causalidade de Granger.	A conclusão foi ausência de causalidade de Granger.	Hipótese de neutralidade.

Continua

Conclusão

Menegaki (2011)	Investigar a relação entre consumo de energia renovável e crescimento econômico.	1997-2007	Países europeus	Modelo de efeitos aleatórios.	A conclusão foi ausência de causalidade de Granger.	Hipótese de neutralidade.
Mozumder e Marathe (2007)	Examinar a relação de causalidade entre consumo de energia <i>per capita</i> e PIB <i>per capita</i> .	1971-1999	Bangladesh	Teste de coinregração e vetor de correção de erros.	Os resultados indicaram causalidade de Granger Unidirecional do PIB <i>per capita</i> para o consumo de energia <i>per capita</i> .	Hipótese de conservação.

Fonte: Elaborado pela autora.

A literatura empírica existente sobre a relação entre consumo de energia e crescimento econômico conta com inúmeros artigos, com o objetivo de verificar a relação causal entre as duas variáveis. Naturalmente os resultados variam de local para local e o tipo de energia considerada. Foram aplicados diversas técnicas e modelos econométricos em vários países. Estudos que abordam o tema consumo de energia elétrica e crescimento econômico de forma específica para o território brasileiro ainda são escassos na literatura e tem como foco principal análises agregadas a nível nacional. Este estudo procura analisar as relações de causalidade entre as variáveis a partir de uma perspectiva regional para os municípios do Estado de Santa Catarina.

3 ECONOMIA DA ENERGIA E O DESEMPENHO ECONÔMICO EM SANTA CATARINA

Santa Catarina é uma das vinte e seis unidades federativas que compõe o Brasil. O estado é formado por duzentos e noventa e cinco municípios e apresenta uma área de valor aproximado em noventa e seis mil quilômetros quadrados (IBGE, 2021). De acordo com a estimativa do IBGE, divulgada em agosto de 2021, Santa Catarina tem 7.338.443 habitantes, um crescimento de 3,45% em comparação com 2020. Com o resultado, o estado ocupa a 10ª posição entre os mais populosos do país.

A distribuição populacional do estado tem como consequência o seu processo de desenvolvimento. As cidades de Santa Catarina apresentam dinâmicas de evolução particulares. Sendo que as principais cidades foram fundadas em períodos distintos, por imigrantes com características próprias. Cada grupo de imigrantes tinham diferentes concepções econômicas e adaptaram sua realidade para o local. Consequentemente, enquanto regiões catarinenses possuíam foco em atividades agrícolas outras com atividades de maior industrialização. Por exemplo, na mesorregião sul catarinense, por muitos anos a principal atividade era à exploração de carvão, enquanto que na mesorregião do vale do Itajaí a indústria têxtil com o passar dos anos teve influência cada vez maior (CABRAL, 1970; PIAZZA, 1983; GOULARTI FILHO, 2016).

Em Santa Catarina a maior empresa de distribuição e comercialização de energia elétrica é a CELESC (Centrais Elétricas de Santa Catarina S.A.) que fornece energia do tipo cativo e livre para as classes residencial, industrial, comercial, rural, poder público, serviço público, iluminação pública, próprio e revenda. De acordo com a concessionária 285 municípios catarinenses foram contemplados com a distribuição de energia, com cerca de 2,5 milhões de unidades consumidoras totalizando 92% do território do estado (CELESC, 2019). Para este estudo foram considerados o tipo de energia cativo para as classes residencial, industrial, comercial, rural, poder público e serviço público. No ranking das cinco maiores cidades com maior consumo por capita de energia elétrica estão Pinheiro Preto, Cordilheira Alta, Braço do Trombudo, Iomerê e Piratuba, respectivamente.

De acordo com os dados da série histórica de consumo por município coletados na CELESC e com a estimativa da população de cada ano coletada no IBGE, foi derivado o consumo *per capita* em 262 municípios catarinenses no ano de 2002 e 2019. A série histórica

do PIB a preços correntes foi coletado no site do IBGE, em seguida a série foi deflacionado pelo IPCA – Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo a preços de 2019, que resultou no PIB *per capita*.

A Tabela 1, apresenta o ranking dos cinco municípios com maior Produto Interno Bruto *per capita* (PIB *per capita*), e dos cinco municípios com maior consumo de energia *per capita* de acordo com os números do ano de 2019.

Tabela 1: Ranking do Consumo de Energia Elétrica *per capita* e Produto Interno Bruto *per capita* dos Municípios Catarinenses no Ano de 2019.

Ranking	Consumo de energia elétrica <i>per capita</i> (MWh)	Município	Produto interno bruto <i>per capita</i> (R\$)	Município
1	6,55	Pinheiro Preto	193.096,39	Piratuba
2	4,26	Cordilheira Alta	128.522,07	Itajaí
3	4,22	Braço do Trombudo	127.363,81	Araquari
4	4,12	Iomerê	98.864,56	Vargem Bonita
5	4,07	Piratuba	92.691,19	Antônio Carlos

Fonte: Elaborado pela autora.

No ranking dos cinco maiores municípios com consumo *per capita* de energia fornecidos pela Celesc em Santa Catarina com dados do ano de 2019 estão Pinheiro Preto com 6,55 MWh por habitante, seguido por Cordilheira Alta com 4,26 MWh por habitante, Braço do Trombudo com 4,22 MWh por habitante, Iomerê com 4,12 MWh por habitante e por fim em quinto na ocupação do ranking Piratuba com 4,07 MWh por habitante.

Pinheiro Preto é o município responsável por 50% da produção de vinho em Santa Catarina, o processo de fermentação é o principal consumidor de energia. O segundo maior município com consumo de energia elétrica *per capita* é Cordilheira Alta. Município tem aspectos de economia rural na produção de aves, bovinos, suínos e na produção de leite. Em terceiro lugar no ranking encontra-se o município de Braço do Trombudo que contem empresas do setor de metalúrgica o que explica sua posição. Em seguida Iomerê é um município da mesorregião oeste catarinense, sua principal atividade é o setor alimentício. Por último o município de Piratuba tem o setor do turismo com as águas termais, um grande consumidor de energia elétrica o que justifica sua posição.

Piratuba em contra partida, é um município conhecida por suas águas termais, e com baixa densidade demográfica, o que justifica sua posição elevada liderando ranking do PIB *per capita* com R\$ 193.096,39 por habitante de acordo com os dados de 2019. O segundo município catarinense com maior PIB *per capita* é Itajaí com R\$ 128.522,07 por habitante, esse número

do PIB pode ser confirmado pelo desempenho da economia local através do porto que é o maior motor da economia do município. O município de Araquari vem logo em seguida no ranking com R\$ 127.363,81 por habitante, considerado um forte polo industrial com empresas nacionais e multinacionais estrangeiras, as maiores são a montadora alemã BMW e a coreana Hyosung. A diferença de riqueza entre Itajaí e Araquari é de R\$ 1.158,26 por habitante. Vargem bonita com R\$ 98.864,56 por habitante é o quarto maior PIB *per capita*, a principal atividade econômica dos municípios é a celulose, utilizada na fabricação de papel e embalagens para o mercado interno e externo. Por fim, em quinto lugar no ranking do PIB *per capita* está Antônio Carlos com R\$ 92.691,19 por habitante, o município é o maior produtor de folhosas (hortaliças) de Santa Catarina, a fábrica de refrigerantes FEMSA - Fomento Económico Mexicano, S.A.B. de C.V.) que produz a Coca-Cola é também uma importante geradora de empregos.

Na Tabela 2 abaixo, mostra as medidas de tendências centrais do consumo de energia elétrica *per capita* e PIB *per capita*.

Tabela 2: Medidas de Tendência Centrais do Consumo de Energia Elétrica *per capita* e Produto Interno Bruto *per capita* no Ano de 2019.

Estatísticas descritivas	Consumo de energia elétrica <i>per capita</i>	Produto interno bruto <i>per capita</i>
Máximo	6,55	193.096,3851
Mínimo	0,008	13.746,4293
Média	1,97	36.668,3523
Moda	-	-
Variância	0,62	328.059.324,0049
Mediana	1,93	32.770,5861
Desvio padrão	0,79	18.147,2061
Percentil 10	1,11	21.794,6551
Percentil 95	3,12	60.530,0679
Curtose	4,52	25,4419
Assimetria	0,82	3,90

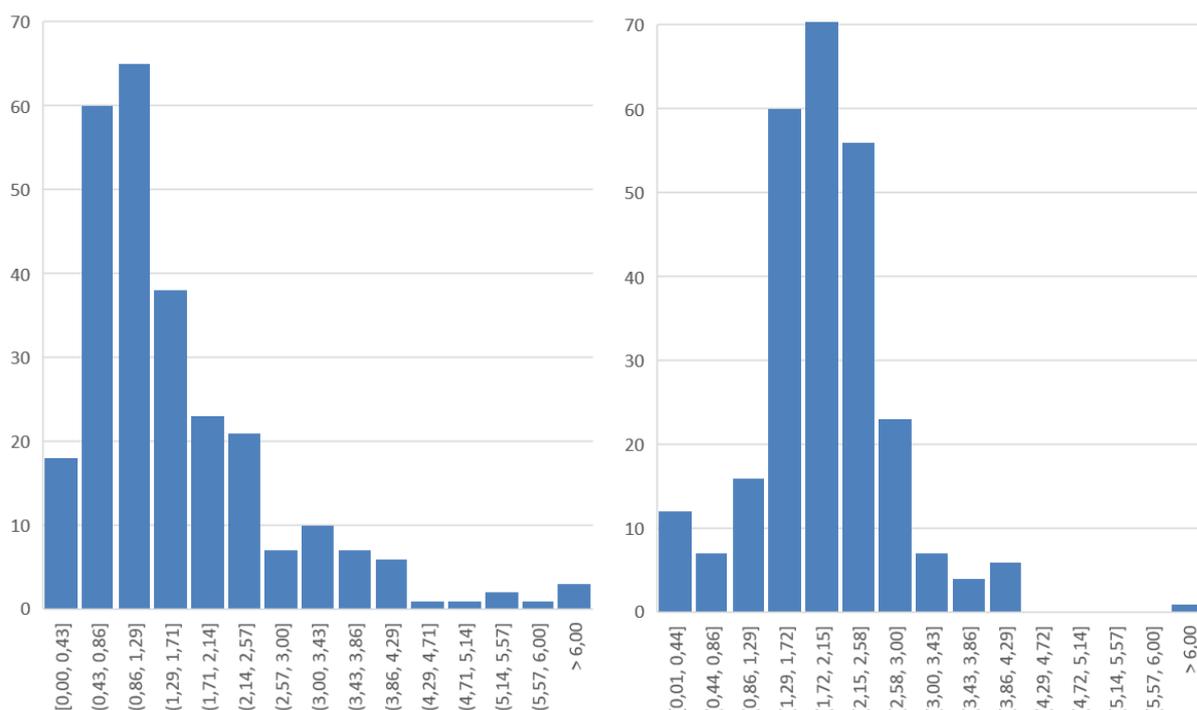
Fonte: Elaborado pela autora.

No ano de 2019 o consumo de energia *per capita* mínimo no Estado de Santa Catarina somou 0,0082 MWh por habitante que aconteceu no município de Forquilha, enquanto que o valor mínimo do PIB *per capita* foi de R\$ 13.746,4293 por habitante no município de Balneário Arroio da Silva. Quanto ao consumo de energia elétrica *per capita* máximo foi de 6,55 MWh por habitante em Pinheiro Preto e PIB *per capita* máximo foi de R\$ 193.096,3851

no município de Piratuba. A média do ano de 2019 do consumo de energia elétrica *per capita* e PIB *per capita* foi de 1,9790 MWh e R\$ 36.668,3523 por habitante respectivamente como observado na Tabela 2.

O histograma de consumo de energia elétrica em MWh foi plotado para verificar a distribuição de energia ao longo do ano 2002 e do ano 2019 (Figura 1). É possível verificar que o volume dos dados está concentrado na região que compreende de 0,43 a 4,29 MWh para o ano de 2002. A Figura em 2002 é assimétrica à direita, pois a distribuição tem uma cauda e média à esquerda. Observa-se que a curtose é leptocúrtica, ou seja, na curva as funções distribuição é mais pontuda com um pico mais alto do que uma distribuição normal. Em 2019 a concentração de dados compreende de 0,01 a 4,29 MWh. A Figura para o ano de 2019 é assimetria positiva e curtose mesocúrtica.

Figura 1: Histograma de frequência do comportamento do Consumo de Energia Elétrica *per capita* catarinense no ano de 2002 à esquerda e no ano de 2019 à direita.



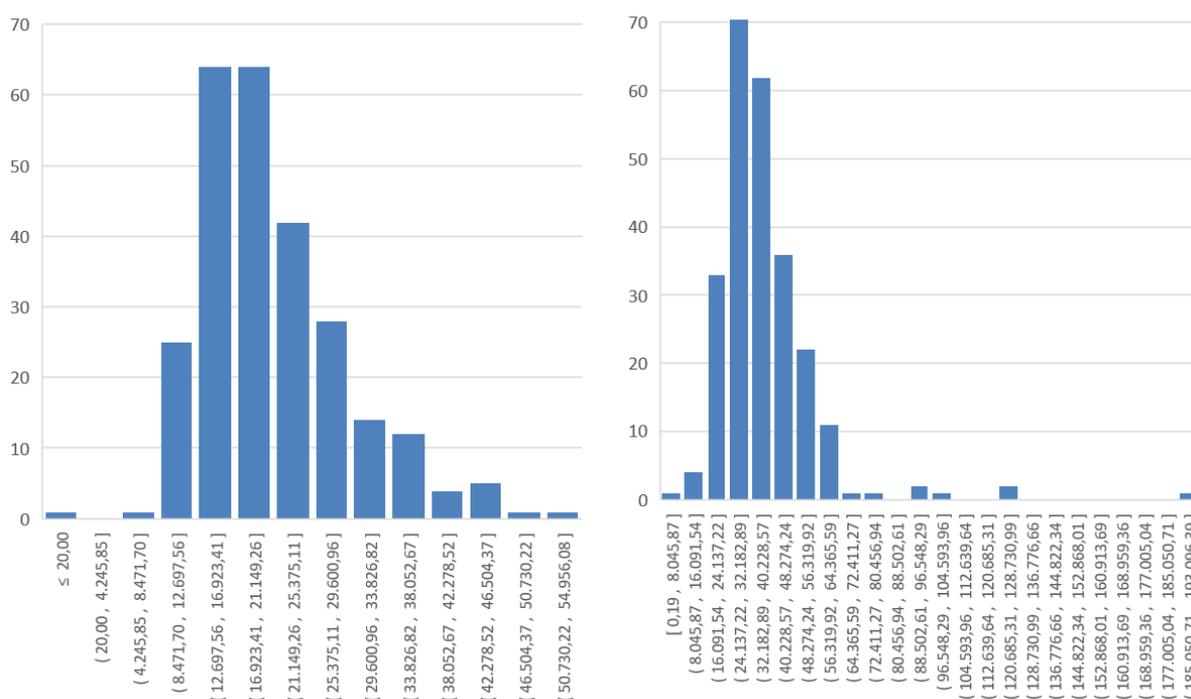
Elaborado pela autora

Em perspectiva comparativa, portanto, nota-se uma desconcentração do consumo de energia elétrica *per capita* em Santa Catarina nos últimos vinte anos da série observada.

O histograma do produto interno bruto *per capita* verifica a distribuição do PIB *per capita* ao longo do ano 2002 e do ano 2019 (Figura 2) resultante da atividade econômica registrada em Santa Catarina pelo número total de habitantes.

No ano de 2002 o volume dos dados está concentrado na região que compreende de R\$ 8.471,70 a R\$ 38.052,67 por habitante. O gráfico é assimétrico com cauda e média à direita. Observa-se que a curtose é leptocúrtica, ou seja, na curva as funções distribuição é mais pontuda com um pico mais alto do que uma distribuição normal. Em 2019 o volume dos dados concentra-se na região que compreende de R\$ 16.091,54 a R\$ 64.365,59 por habitante. O gráfico é simétrico, com a curtose mesocúrtica.

Figura 2: Histograma de frequência do comportamento do PIB *per capita* catarinense em valores monetários no ano de 2002 à esquerda e no ano de 2019 à direita.



Elaborado pela autora.

Analisando os dados, em comparação com os anos 2002 e 2019, sugere-se que a produção de bens e serviços da população catarinense estão em sua maioria concentrados à direita da curva.

O estado conta com uma economia diversificada que vai do comércio e serviços a atividades agrícolas e industriais, entre as diferentes regiões. Na região Oeste destaca-se a agroindústria; no Sul, o ramo cerâmico, mineral e químico; na Serra é evidente o setor

madeireiro, papel e celulose; no Vale do Itajaí a predominância têxtil; ao Norte catarinense, o setor eletromecânico e o polo moveleiro; por último a região da Grande Florianópolis, concentra-se o polo tecnológico e o setor de serviços.

A mesorregião Oeste conta com 118 municípios, considerada uma região agroindustrial onde localizam-se 7,9% das empresas do estado e que se apresenta como destaque nos setores alimentício de origem animal (PAIM, 2006). Empresas como a BRF S.A – (Brasil Foods S.A) com sede em Concórdia e Aurora Alimentos com sede em Chapecó são exemplos de agroindústrias da região.

Na mesorregião Sul é constituída por 44 municípios, inicialmente a principal atividade econômica no início da colonização era a agricultura familiar com cultivos de milho, arroz e o fumo, além da criação de suínos, aves e a gado leiteiro, seguido pela extração de carvão no município de Criciúma. O setor secundário é impulsionado pela cerâmica. Sugere-se que os problemas com a industrialização são decorrentes da carga tributária e dos custos de energia elevada. O comércio nesta região tem destaque em Tubarão e Criciúma como sendo os principais centros comerciais da região. Silveira (2016a).

A mesorregião Serrana é formada por 30 municípios, tem como característica a região mais fria do estado, tornando-se uma região como importante rota de turismo, visto que as ocorrências de geadas e neve no inverno em algumas localidades atraem diferentes públicos. A fonte de renda desta região deriva da agropecuária bovina de corte, a extração e transformação da madeira e segundo Silveira (2016a). Os municípios de Lages e São Joaquim são o terceiro produtor de maçãs do estado. Entretanto os municípios de Lages, Correia Pinto e Otacílio Costa tem destaques com a indústria de celulose.

O Vale do Itajaí, por sua vez é constituída por 54 municípios, a economia desta mesorregião é destacada pela indústria têxtil com a empresa Hering com sede em Blumenau, alimentício com a empresa Bunge que é líder na originação grãos e em processamento de soja e trigo com sede em Gaspar. A região é ainda a que mais contribui para as exportações catarinenses, por possuir um setor de maquinário e de produção de transformadores elétricos importantes Silveira (2016b).

A mesorregião Norte é formada por 26 municípios, sua principal atividade deriva do setor metal mecânico e da indústria moveleira (FIESC). As empresas Tupy S.A e Weg com sede em Jaraguá do Sul são exemplos da indústria metal mecânica.

Por fim, a mesorregião da Grande Florianópolis é composta por 21 municípios, apesar de não ser a região mais populosa, é a que possui maior densidade demográfica (MOTTA, 2000). Por se tratar de uma região litorânea e com a sede da capital do estado, o turismo e o setor de serviço fazem o dinamismo da região. Atualmente a região é um dos maiores mercados de startups (ACATE).

Com o desempenho econômico de cada mesorregião descrita a cima, muitas das atividades envolvem o consumo de energia como um insumo essencial. O uso de fontes energéticas pode levar a mudanças qualitativas nas mesorregiões como o crescimento econômico. O capítulo a seguir trata os dados do produto interno bruto *per capita* e do consumo de energia elétrica *per capita* do estado de Santa Catarina para investigar se há relação de causalidade entre crescimento econômico e consumo de energia elétrica, e se houver causalidade, qual será a ordem causal.

4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Neste capítulo apresenta-se a metodologia econométrica referente ao teste de Causalidade de Granger em painel empregado neste estudo. Inicia-se pela descrição teórica e pela formalização das equações do modelo. E a seção 4.1 é destinada a base de dados.

Na literatura especializada os autores Kraft e Kraft (1978), Hwang e Gum (1991 apud OZTURK, 2010) e Aqeel e Butt (2001) estudam sobre consumo de energia e crescimento econômico que ressaltam as relações de causalidade entre as variáveis econômicas, estes estudos contam com abordagens convencionais de séries de tempo até dados em painel.

O conceito de causalidade de Granger (1969) é uma maneira de verificar se uma série temporal (X) ajuda a prever a outra série (Y), ou vice-versa.

A regressão do teste para o painel assume a seguinte forma:

$$y_{i,t} = \alpha_{0,i} + \alpha_{1,i} y_{i,t-1} + \dots + \alpha_{k,i} y_{i,t-k} + \beta_{1,i} x_{i,t-1} + \dots + \beta_{k,i} x_{i,t-k} + \varepsilon_{i,t}, \quad (1)$$

$$x_{i,t} = \alpha_{0,i} + \alpha_{1,i} x_{i,t-1} + \dots + \alpha_{k,i} x_{i,t-k} + \beta_{1,i} y_{i,t-1} + \dots + \beta_{k,i} y_{i,t-k} + \varepsilon_{i,t}, \quad (2)$$

Onde t denota a dimensão do período de tempo do painel, enquanto i denota a dimensão da seção transversal, no presente caso referindo-se aos municípios catarinenses. Nesta estrutura de painel, a hipótese nula (H_0) é a de não causalidade homogênea, ou seja, inexistência de precedência temporal entre as N unidades do painel. Já a hipótese alternativa ou hipótese de causalidade homogênea (H_{a1}) é a presença de causalidade de Granger em todas as cross-sections simultaneamente.

A primeira equação (1) estabelece que valores correntes de Y estão relacionados a valores passados de Y e a valores passados de X . A segunda equação (2) repete essa relação para X . Se Y não for importante para prever X , os coeficientes β_{yi} da segunda equação (2) devem ser estatisticamente iguais a zero, ou seja, não deve-se rejeitar a hipótese nula de que Y não Granger causa X . Da mesma forma se X não for importante para prever Y , os coeficientes β_{xi} na primeira equação (1), devem ser estatisticamente iguais a zero e não rejeita-se a hipótese nula.

Granger e Huang (1997), ampliaram a abordagem clássica do Granger (1969) inserindo as dimensões de tempo e cross-section. Há duas abordagens para testes de causalidade

em painéis. A primeira abordagem trata os dados do painel como um grande conjunto de dados empilhados e, em seguida, executa o teste de causalidade de Granger padronizado, não permitindo que os dados de uma seção transversal considerem os valores defasados dos dados do próximo cross-section. Este método identifica que todos os coeficientes são iguais em todas as seções transversais, assim:

$$\alpha_{0,i} = \alpha_{0,j}, \alpha_{1,i} = \alpha_{1,j}, \dots, \alpha_{t,i} = \alpha_{t,j}, \forall i, j, \quad (3)$$

$$\beta_{1,i} = \beta_{1,j}, \dots, \beta_{t,i} = \beta_{t,j} \forall i, j, \quad (4)$$

A segunda abordagem adotada por Dumitrescu e Hurlin (2012), faz uma suposição oposta, onde permite que todos os coeficientes sejam diferentes entre as seções transversais:

$$\alpha_{0,i} \neq \alpha_{0,j}, \alpha_{1,i} \neq \alpha_{1,j}, \dots, \alpha_{t,i} \neq \alpha_{t,j}, \forall i, j, \quad (5)$$

$$\beta_{1,i} \neq \beta_{1,j}, \dots, \beta_{t,i} \neq \beta_{t,j} \forall i, j, \quad (6)$$

A extensão do teste para o painel assume a seguinte forma:

$$y_{it} = \alpha_i + \sum_{k=1}^K \gamma_i^{(k)} y_{it-k} + \sum_{k=1}^K \beta_i^{(k)} x_{it-k} + \eta_{1i} + \varepsilon_{it}. \quad (7)$$

Em que $y_i = (\gamma_i^{(1)}, \dots, \gamma_i^{(K)})$; $\beta_i = (\beta_i^{(1)}, \dots, \beta_i^{(K)})$, x_{it} e y_{it} são parâmetros associados às variáveis de interesse; α_i representa os efeitos individuais fixos das $i=1, \dots, N$ unidades de cross-section; K , o número de defasagem; e $\gamma_i^{(k)}$ e $\beta_i^{(k)}$, os coeficientes autorregressivos.

Dumitrescu e Hurlin (2012) com sua abordagem inovaram o procedimento no teste de uma hipótese alternativa que indica a presença de causalidade de Granger para pelo menos uma proporção das unidades *cross-section* do painel (H_{a2}). Essa hipótese é designada como causalidade heterogênea, evidenciando os termos α_i e $\beta_i^{(k)}$, os fatores heterogêneos que identificam os efeitos individuais e a inclinação da reta de regressão em (7).

O conceito de causalidade no sentido de Granger está associado a ideia de antecedência temporal entre variáveis. Ou seja, O Teste de Causalidade de Granger baseia-se na ideia de que se X causa Y , o conhecimento de valores passados de X permite melhores previsões de Y . Vale ressaltar o sentido dessa interpretação: uma vez que o futuro não pode prever o passado, se a variável X (Granger) causa variação na variável Y , então variações em Y deveriam anteceder variações em X . Assim, o termo causalidade, no sentido estatístico, não significa

necessariamente que uma variável é resultante do efeito da outra, mas que uma variável antecede a outra.

Considere duas séries temporais X e Y . Nesse estudo especificamente, estamos interessados em saber se X causa/antecede Y , ou vice-versa, se não existe relação de causalidade entre as variáveis ou se essa relação é bidirecional e a qual a ordem da causalidade, ou seja, se a variável PIB *per capita* causa a variável Consumo de energia elétrica *per capita* no sentido de Granger.

A causalidade de Granger da variável X para a variável Y é avaliada testando a hipótese nula de que os coeficientes da variável em todas as suas defasagens são, simultaneamente, estatisticamente iguais a zero na equação em que é a variável dependente. Caso a hipótese nula seja rejeitada, conclui-se que a variável X Granger-causa a variável Y .

4.1 BASE DE DADOS

Neste estudo, foram utilizadas duas variáveis conceituadas na literatura empírica que trata a relação de causalidade entre crescimento econômico e consumo de eletricidade: Produto Interno Bruto (PIB) real *per capita* e Consumo de energia elétrica *per capita*.

As dimensões temporais utilizada nesse estudo consiste de observações anuais para o período de 2002 a 2019, enquanto a dimensão do *cross-section* consiste nos municípios do Estado de Santa Catarina. Trata-se de dados de acesso livre ao público, sendo obtidos no site eletrônico da Central Elétrica de Santa Catarina S.A (CELESC), e no IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística).

A coleta desses dados foi realizada para os 295 municípios catarinenses nos anos de 2002 a 2019. Entretanto, foram excluídos dessa análise municípios catarinenses que não fazem parte da distribuição energética da CELESC ou que seu consumo de energia era mínimo. As áreas atendidas pela Celesc abrangem consumidores livres e cativos e as classes residencial, industrial, comercial, rural, poder público, serviço público, iluminação pública, próprio e revenda. Neste estudo, foram utilizados 262 municípios do tipo consumidores cativos que são os consumidores que compram energia das concessionárias de distribuição onde estão ligadas, e as classes residencial, industrial, comercial, rural, poder público e serviço público.

A série do consumo de energia elétrica é expressa em termos de MWh (mega watt-hora), conforme divulgado pela CELESC, tendo como fonte original o Boletim Dados de Consumo.

A série do Produto Interno Bruto (PIB), em valores correntes é a soma de todos os bens e serviços finais produzidos na economia durante determinado período de tempo. Essa série tem como fonte o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

O Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo – IPCA mede a inflação de um conjunto de produtos e serviços comercializados no varejo, referente ao consumo pessoal das famílias é calculado e divulgado pelo IBGE.

A série da população corresponde aos dados da estimativa da população calculada também pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Departamento de População e Indicadores Sociais e é divulgada anualmente.

O tratamento dos dados ocorreu obedecendo as seguintes etapas. Em primeiro lugar, a série de dados do PIB, em valores correntes, foi convertida em termos reais, deflacionada pelo IPCA de 2019. Em seguida, as séries de PIB real e consumo total de energia elétrica de cada ano são expressos em termos *per capita*. Finalmente, essas variáveis são convertidas na forma de logaritmos naturais, para ser testados no painel de Granger que foi chamada de LN de PIB *per capita* (LNPC) e LN de consumo de energia elétrica *per capita* (LNCPC).

A vantagem do modelo é poder examinar a relação de causalidade entre as variáveis crescimento econômico e consumo de energia elétrica e quando existir causalidade saber qual a ordem causal. Como as mesorregiões do estado diferem entre si, foram aplicados no capítulo resultados e discussão testes de causalidade homogênea e heterogênea para todas as seis mesorregiões catarinenses, além do estado como um todo.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Esta seção examina os resultados do teste de causalidade em painel. Para a análise de Santa Catarina comparamos as estimativas de causalidade homogênea, em que os coeficientes são todos tratados como idênticos, ou seja, os aspectos das mesorregiões não são considerados, e estimativas de causalidade heterogênea onde as particularidades de cada região são importantes para o resultado. Foram consideradas quatro defasagens para os testes homogêneo e heterogêneo seguindo o critério de robustez, sugerindo que se em pelo menos três delas houver evidência de causalidade, a conclusão da análise sugerirá que há evidência. No entanto, se em pelo menos duas não for possível rejeitar a hipótese nula, concluiremos que não há evidência suficientes para suportar causalidade de Granger. Foram considerados os testes F para a causalidade homogênea e o teste Z -bar para a causalidade heterogênea.

Os testes de Causalidade homogênea e Causalidade heterogênea foram aplicados através do pacote estatístico Eviews 10, para a amostra completa dos municípios de Santa Catarina no período de 2002 a 2019 com defasagens: 1, 2, 3 e 4 respectivamente. Os números principais representam as estatísticas de teste F e Z -bar, enquanto que os termos em parênteses representam os valores de probabilidade (p-valor). Com o objetivo de examinar se existe relação causal entre crescimento econômico e consumo de energia elétrica para amostra completa os resultados abaixo na Tabela 3 foram obtidos.

Tabela 3: Resultados dos testes de causalidade homogênea e heterogênea de Granger em painel para a amostra completa das mesorregiões catarinenses entre 2002 e 2019.

Teste de Causalidade homogênea				
Hipótese Nula	1	2	3	4
LNPC Não Causa Granger LNCPC	0.82767 (0,3630)	5.31134 (0,0050)	1.07030 (0,3604)	0.76423 (0,5484)
LNCPC Não Causa Granger LNPC	5.05189 (0,0246)	2.25626 (0,1049)	1.88951 (0,1291)	1.35767 (0,2461)
Teste de Causalidade heterogênea				
Hipótese Nula	1	2	3	4
LNPC Não Causa Homogeneamente LNCPC	11.1337 (0,0000)	9.48323 (0,0000)	4.11224 (4.E-05)	2.64055 (0,0083)
LNCPC Não Causa Homogeneamente LNPC	9,3486 (0,0000)	6,91554 (5.E-12)	3,00246 (0,0027)	2,25547 (0,041)

Fonte: Elaborado pela autora.

Nota: Os valores “p” estão indicados em parênteses. Nível de significância estatística: 5%. Foi usado o teste estatístico F para causalidade homogênea e o teste Z -bar para a causalidade heterogênea.

No teste de causalidade homogêneo o p-valor é em média maior que o nível de significância ($\alpha=0,05$), nas defasagens 1,3 e 4 de LNPC não Granger causa LNCPC (PIB *per capita* não Granger causa consumo de energia elétrica *per capita*) e nas defasagens 2, 3 e 4 de LNCPC não causa Granger LNPC (consumo de energia elétrica *per capita* não Granger causa PIB *per capita*). Conclui-se que não há evidência de causalidade homogênea para a amostra completa de municípios, pois, em três defasagens a hipótese nula não pode ser rejeitada. Em parte, esse resultado pode ser explicado pelo fato de estarmos tratando os municípios e regiões distintas entre si como homogênea, interferindo a construção de evidências nesta direção.

Por outro lado, o teste de causalidade heterogênea com o p-valor do teste é em média menor que o nível de significância ($\alpha=0,05$). Indiciando que em ao menos um subgrupo de municípios existe causalidade de Granger para as variáveis PIB *per capita* e consumo de energia elétrica *per capita*, ou seja, bicausalidade.

A literatura empírica baseada na abordagem de causalidade de Granger em painel soma dificuldades a respeito das particularidades das regiões. O teste de causalidade homogênea trata os coeficientes como iguais e não leva em consideração no modelo as particularidades de cada região. Por outro lado, o teste de causalidade de heterogêneo (Teste de Causalidade de Granger em painel de Dumitrescu e Hurlin) considera as particularidades de cada região na análise, porém, se um único município tiver causalidade o teste acusa que toda a região tem causalidade. Por essa razão, ambos os testes foram aplicados regionalmente para as diferentes mesorregiões do estado de Santa Catarina.

O teste de causalidade foi aplicado para as mesorregiões catarinenses, no período de 2002 a 2019 a fim de avaliar se existe relação causal entre consumo de energia elétrica e crescimento econômico entre as regiões desagregadas. A Tabela 4 apresenta os resultados dos testes de causalidade de Granger em painel homogêneo e heterogêneo para os municípios da mesorregião Oeste.

Tabela 4: Resultados dos testes de causalidade homogênea e heterogênea de Granger em painel para a amostra da mesorregião Oeste catarinenses entre 2002 e 2019.

Teste de Causalidade homogênea				
Hipótese Nula	1	2	3	4
LNPC Oeste Não Causa Granger LNCPC Oeste	0.26190 (0,6089)	10.7623 (2.E-05)	6.92591 (0,0001)	7.14915 (1.e-05)
LNCPC Oeste Não Causa Granger LNPC Oeste	0.04010 (0,8413)	0.11949 (0,8874)	1.99940 (0,1122)	2.38340 (0,0496)
Teste de Causalidade heterogênea				
Hipótese Nula	1	2	3	4
LNPC Oeste Não Causa Homogeneamente LNCPC Oeste	2.57571 (0.0100)	3.60261 (0.0003)	1.46188 (0.1438)	0.39616 (0,6920)
LNCPC Oeste Não Causa Homogeneamente LNPC Oeste	8.14904 (4.E-16)	9.31183 (0.0000)	2.96500 (0,0030)	2.24912 (0.0245)

Fonte: Elaborado pela autora.

Nota: Os valores “p” estão indicados em parênteses. Nível de significância estatística: 5%. Foi usado o teste estatístico F para causalidade homogênea e o teste Z-bar para a causalidade heterogênea.

No Oeste catarinense homogeneamente, em média as defasagens 2,3 e 4 apresentam um p valor menor que 0,05 o que sugere à rejeição da hipótese nula. Concluindo há evidencia de causalidade partindo do LNPC (PIB *per capita*) para LNCPC (consumo de energia elétrica *per capita*). Resultado esse que corrobora com Mozumder e Marathe (2007), que analisou o país de Bangladesh entre 1971 a 1999 indicando causalidade de Granger do PIB *per capita* para o consumo de energia *per capita* auferindo a hipótese de conservação.

Considerando as particularidades da mesorregião Oeste, o teste de causalidade heterogêneo sugere evidências em ao menos um subgrupo de municípios a causalidade partindo de LNCPC (consumo de energia elétrica *per capita*) para LNPC (PIB *per capita*), ou seja, em termos globais, a região é caracterizada por uma procedência temporal do PIB *per capita* em relação ao consumo de energia elétrica, entretanto essa análise não é válida para os municípios individualmente.

O Oeste é a maior mesorregião do estado de Santa Catarina, com a população em grande parte rural, sua economia concentra-se na agroindústria com criação de aves, bovinos e suínos. Com as empresas na sua maioria do ramo alimentício, pode-se dizer que pelo menos um subgrupo de municípios é dependente da energia elétrica para crescer. Por outro lado, em termo mais gerais, as evidências são de que é o crescimento econômico que causa no sentido de Granger o consumo de energia elétrica *per capita*.

A Tabela 5 apresenta os resultados dos testes de causalidade de Granger em painel homogêneo e heterogêneo para os municípios da mesorregião Norte.

Tabela 5: Resultados dos testes de causalidade homogênea e heterogênea de Granger em painel para a amostra da mesorregião Norte catarinenses entre 2002 e 2019.

Teste de Causalidade homogênea				
Hipótese Nula	1	2	3	4
LNPC Norte Não Causa Granger LNPC Norte	0.67154 (0.4130)	0.3873 (0.6791)	0.32242 (0.8092)	0.87963 (0.4762)
LNCPC Norte Não Causa Granger LNPC Norte	5.70589 (0.0173)	4.11400 (0.0170)	2.64927 (0.0487)	2.17864 (0.0710)
Teste de Causalidade heterogênea				
Hipótese Nula	1	2	3	4
LNPC Norte Não Causa Homogeneamente LNCPC Norte	2.55124 (0.0107)	1.09281 (0.2721)	-0.9653 (0.9231)	-0.10515 (0.9163)
LNCPC Norte Não Causa Homogeneamente LNPC Norte	0.82264 (0.4107)	1.30226 (0.1928)	3.49615 (0.0005)	0.83140 (0.4057)

Fonte: Elaborado pela autora.

Nota: Os valores “p” estão indicados em parênteses. Nível de significância estatística: 5%. Foi usado o teste estatístico F para causalidade homogênea e o teste Z-bar para a causalidade heterogênea.

Na mesorregião Norte catarinense, o teste de causalidade homogêneo em médias com as defasagens 1,2 e 3 apresentam significância menor que 0,05 para LNCPC (consumo de energia elétrica *per capita*) Granger causa LNPC (PIB *per capita*), podemos então rejeitar a hipótese nula. Sugerindo que globalmente, variações no consumo de energia elétrica *per capita* precedem variações no PIB *per capita*. Resultado esse que corrobora com Altinay e Karagol (2005), indicando que a oferta de eletricidade é essencial nesta região para atender crescimento econômico expansivo. Auferindo a hipótese de crescimento.

O teste de causalidade heterogêneo observa-se que ao nível de 5% de significância nas defasagens 2,3 e 4 de LNPC (PIB *per capita*) não Granger causa LNCPC Norte (consumo de energia elétrica *per capita*) desse modo, não rejeitamos a hipótese nula. O mesmo observado para as defasagens 1,2 e 4 de LNCPC (consumo de energia elétrica *per capita*) não Granger causa homogeneamente LNCP (PIB *per capita*). Sugere-se que, isoladamente, não há evidências de causalidade heterogênea nos subgrupos da mesorregião.

Na mesorregião Norte, alterações no consumo de energia elétrica não precedem o crescimento econômico dos subgrupos dos municípios, fator determinante é que se trata de uma região industrializada com foco no metal mecânico a mesorregião é dependente das exportações

e importações. Assim, parece ser a dinâmica econômica desses setores a responsável de maneira homogênea, pela expansão do crescimento econômico.

A Tabela 6 apresenta os resultados dos testes de causalidade de Granger em painel homogêneo e heterogêneo para os municípios da mesorregião Serrana.

Tabela 6: Resultados dos testes de causalidade homogênea e heterogênea de Granger em painel para a amostra da mesorregião Serrana catarinenses entre 2002 e 2019.

Teste de Causalidade de Granger				
Hipótese Nula	1	2	3	4
LNPC Serra Não Causa Granger LNPC Serra	11.4769 (0.0008)	9.89507 (6.E-05)	5.56767 (0.0009)	2.64104 (0.0335)
LNCPC Serra Não Causa Granger LNPC Serra	11.8475 (0.0006)	4.62628 (0.0103)	2.09779 (0.0999)	1.49056 (0.2043)
Teste de Causalidade heterogêneo				
Hipótese Nula	1	2	3	4
LNPC Serra Não Causa Homogeneamente LNCPC Serra	3.75282 (0.0002)	4.1508 (3.E-05)	1.80282 (0.0714)	0.24583 (0.8058)
LNCPC Serra Não Causa Homogeneamente LNPC Serra	9.14809 (0.0000)	6.60099 (4.E-11)	0.79815 (0.4248)	0.58988 (0.5553)

Fonte: Elaborado pela autora.

Nota: Os valores “p” estão indicados em parênteses. Nível de significância estatística: 5%. Foi usado o teste estatístico F para causalidade homogênea e o teste Z-bar para a causalidade heterogênea.

O teste de causalidade homogêneo para a mesorregião Serrana ao nível de significância 5% o p valor para as quatro defasagens é em média menor que 0,05 ($\alpha=0,05$), rejeita-se a hipótese nula de que LNPC (PIB *per capita*) não Granger causa LNCPC (consumo de energia elétrica *per capita*).

Nota-se que do ponto de vista heterogêneo, a causalidade evidenciada também é de LNPC (PIB *per capita*) não Granger causa LNCPC (consumo de energia elétrica *per capita*), ou seja, o crescimento econômico que precede o consumo de energia elétrica *per capita*, que corrobora com a hipótese de conservação de Shahbaz, Tang e Shabbir (2011) onde reexaminaram a relação de causalidade entre consumo de eletricidade, crescimento e emprego para Portugal entre 1971 a 2009 e concluíram unidirecionalidade do crescimento para o consumo de eletricidade.

A mesorregião Serrana tem como o turismo rural, pecuária, e a produção de maçãs e hortaliças e o setor madeireiro como sua principal fonte de riqueza.

A Tabela 7 apresenta os resultados dos testes de causalidade de Granger em painel homogêneo e heterogêneo para os municípios da mesorregião da Grande Florianópolis, nesta região foram encontradas evidências de causalidade relacionadas à hipótese de neutralidade.

Tabela 7: Resultados dos testes de causalidade homogênea e heterogênea de Granger em painel para a amostra da mesorregião da Grande Florianópolis entre 2002 e 2019.

Teste de Causalidade homogênea				
Hipótese Nula	1	2	3	4
LNPC Grande Florianópolis Não Causa Granger LNPC Grande Florianópolis	0.20495 (0.6511)	0.00840 (0.9916)	0.04771 (0.9862)	1.28716 (0.2756)
LNCPC Grande Florianópolis Não Causa Granger LNPC Grande Florianópolis	1.95637 (0.1629)	0.71338 (0.4909)	0.48680 (0.6917)	0.25900 (0.9040)
Teste de Causalidade heterogênea				
Hipótese Nula	1	2	3	4
LNPC Grande Florianópolis Não Causa Homogeneamente LNCPC Grande Florianópolis	2.20536 (0.0274)	0.68385 (0.4941)	-0.21139 (0.8326)	-0.12581 (0.8999)
LNCPC Grande Florianópolis Não Causa Homogeneamente LNPC Grande Florianópolis	1.34181 (0.1797)	0.04294 (0.9657)	0.37592 (0.7070)	-0.48873 (0.6250)

Fonte 1: Elaborado pela a autora.

Nota: Os valores “p” estão indicados em parênteses. Nível de significância estatística: 5%. Foi usado o teste estatístico F para causalidade homogênea e o teste Z-bar para a causalidade heterogênea.

As evidências desta região sugerem que variações no consumo de energia não causam variações no crescimento econômico e vice-versa. Evidência essa observada com o teste de causalidade homogênea e heterogênea.

No teste de causalidade homogênea, em média como os valores p em parêntese são maiores que 0,05 para as quatro defasagens em LNPC (PIB *per capita*) e LNCPC (consumo de energia elétrica *per capita*) não rejeita-se a hipótese nula.

Já no teste de causalidade heterogênea, o resultado advoga em termo de hipótese de neutralidade. Em média os valores p são maiores que 0,05 e a hipótese nula não é rejeitada. Os resultados sugerem que nenhuma das variáveis PIB *per capita* e consumo de energia elétrica *per capita* pode ser usada para prever a outra.

A mesorregião da Grande Florianópolis está ligada principalmente ao setor de serviços, por se tratar da capital catarinense, o turismo forte por ser uma região litorânea e também um forte polo tecnológico. Sugere-se que o turismo desta região pode explicar o resultado.

A Tabela 8 a seguir, apresenta o teste de causalidade homogêneo e heterogêneo de Granger para o vale do Itajaí entre os anos de 2002 e 2019.

Tabela 8: Resultados dos testes de causalidade homogênea e heterogênea de Granger em painel para a amostra da mesorregião do Vale do Itajaí entre 2002 e 2019.

Teste de Causalidade homogênea				
Hipótese Nula	1	2	3	4
LNPC Vale do Itajaí Não Causa Granger LNPC Vale do Itajaí	0.02683 (0.8699)	1.44795 (0.2356)	6.07116 (0.0004)	4.18758 (0.0023)
LNCPC Vale do Itajaí Não Causa Granger LNPC Vale do Itajaí	0.23217 (0.6300)	7.71338 (0.005)	2.07164 (0.1025)	0.95557 (0.4313)
Teste de Causalidade heterogêneo				
Hipótese Nula	1	2	3	4
LNPC Vale do Itajaí Não Causa Homogeneamente LNCPC Vale do Itajaí	4.79939 (2.E-06)	3.73750 (0.0002)	1.90957 (0.0562)	1.36574 (0.1720)
LNCPC Vale do Itajaí Não Causa Homogeneamente LNPC Vale do Itajaí	3.16614 (0.0015)	1.20664 (0.2276)	0.91048 (0.3626)	1.71508 (0.0863)

Fonte: Elaborada pela autora.

Nota: Os valores “p” estão indicados em parênteses. Nível de significância estatística: 5%. Foi usado o teste estatístico F para causalidade homogênea e o teste Z-bar para a causalidade heterogênea.

No teste de causalidade homogêneo, em média como os valores p em parêntese são maiores que 0,05 em LNPC (*PIB per capita*) e LNCPC (consumo de energia elétrica *per capita*) não rejeita-se a hipótese nula, resultando em não evidência de causalidade, nesse sentido sugere-se a hipótese de neutralidade.

Já no teste de causalidade heterogêneo nota-se que há evidência de causalidade bidirecional partindo de LNPC (*PIB per capita*) para LNCPC (consumo de energia elétrica *per capita*), porém, as evidências em torno da relação inversa LNCPC (consumo de energia elétrica *per capita*) para LNPC (*PIB per capita*) são em média mais fracas.

Nesta mesorregião é destaque o polo de confecções, e em Itajaí a economia portuária, processamento de pesca e fabricação de embarcações. O que pode explicar a relação de não causalidade homogênea entre consumo de energia e crescimento econômico. Itajaí é um grande exportador de Santa Catarina, logo depende das importações e exportações para variações do crescimento econômico.

A Tabela 9 a seguir, apresenta o teste de causalidade homogêneo e heterogêneo de Granger para a mesorregião Sul catarinense entre os anos de 2002 a 2019.

Tabela 9: Resultados dos testes de causalidade homogênea e heterogênea de Granger em painel para a amostra da mesorregião Sul catarinenses entre 2002 a 2019.

Teste de Causalidade homogênea				
Hipótese Nula	1	2	3	4
LNPC Sul Não Causa Granger LNCPC Sul	11.2775 (0.0009)	2.44203 (0.0884)	2.92394 (0.0339)	2.48609 (0.0435)
LNCPC Sul Não Causa Granger LNPC Sul	0.08941 (0.7651)	0.19956 (0.8192)	0.42394 (0.7359)	1.03208 (0.3907)
Teste de Causalidade heterogênea				
Hipótese Nula	1	2	3	4
LNPC Sul Não Causa Homogeneamente LNCPC Sul	4.65495 (3.E-06)	4.04681 (5.E-05)	2.77660 (0.0055)	4.42065 (1.E-05)
LNCPC Sul Não Causa Homogeneamente LNPC Sul	2.40442 (0.0162)	1.46758 (0.1422)	1.65524 (0,0979)	0.73589 (0.4618)

Fonte: Elaborado pela autora.

Nota: Os valores “p” estão indicados em parênteses. Nível de significância estatística: 5%. Foi usado o teste estatístico F para causalidade homogênea e o teste Z-bar para a causalidade heterogênea.

O teste de causalidade homogêneo evidencia causalidade de LNPC (*PIB per capita*) para LNCPC (consumo de energia elétrica *per capita*), observando os valores p em parêntese são menores que 0,05 nas defasagens 1, 3 e 4. Ou seja, não rejeitamos a hipótese nula. Resultado corrobora com a hipótese de conservação de Cheng e Lai (1997) no sentido do incremento da atividade econômica para o consumo de energia.

No teste de causalidade heterogêneo sugere evidencia partindo do PIB *per capita* para o consumo de energia elétrica *per capita*, visto que os valores p em parêntese são menores que 0,05 nas quatro defasagens. A relação inversa de consumo de energia elétrica *per capita* para PIB *per capita* é fraca.

A mesorregião Sul é caracterizada como a principal produtora de arroz do sul do Brasil, em Criciúma o destaque é a extração de carvão, também conta com indústrias de cerâmica, vestuário e química.

Em geral as evidências são fortes partindo do LNPC (*PIB per capita*) para LNCPC (consumo de energia elétrica *per capita*) A Quadro 2 mostra a síntese dos resultados do teste de causalidade homogênea e heterogênea para a região como um todo e para as mesorregiões catarinense entre 2002 a 20019.

Quadro 2: Síntese dos testes de causalidade homogênea e heterogênea para o estado de Santa Catarina entre os anos de 2002 e 2019.

Região	Teste	Resultado	Hipótese auferida
Santa Catarina	Teste de causalidade homogênea	Sem evidência de causalidade.	Hipótese de neutralidade
	Teste de causalidade heterogênea	Causalidade bidirecional entre as variáveis para pelo menos um subgrupo.	Hipótese de feedback.
Oeste Catarinense	Teste de causalidade homogênea	Evidencia de causalidade partindo do PIB <i>per capita</i> para o consumo de energia <i>per capita</i> .	Hipótese de conservação
	Teste de causalidade heterogênea	Ao menos um subgrupo de municípios a causalidade parte do consumo de energia elétrica <i>per capita</i> para o PIB <i>per capita</i> .	Hipótese de crescimento.
Norte Catarinense	Teste de causalidade homogênea	Variações no consumo de energia <i>per capita</i> precedem variações no PIB <i>per capita</i> .	Hipótese de crescimento
	Teste de causalidade heterogênea	Não há evidências de causalidade heterogênea nos subgrupos da mesorregião.	Hipótese de neutralidade

Continua

Conclusão

Serra Catarinense	Teste de causalidade homogênea	Crescimento econômico que precede o consumo de energia elétrica <i>per capita</i> .	Hipótese de conservação
	Teste de causalidade heterogênea	Crescimento econômico que precede o consumo de energia elétrica <i>per capita</i> .	Hipótese de conservação
Grande Florianópolis	Teste de causalidade homogênea	Sem evidência de causalidade.	Hipótese de neutralidade
	Teste de causalidade heterogênea	Sem evidência de causalidade.	Hipótese de neutralidade
Vale do Itajaí	Teste de causalidade homogênea	Sem evidência de causalidade.	Hipótese de neutralidade
	Teste de causalidade heterogênea	Causalidade bidirecional partindo do PIB <i>per capita</i> para o consumo <i>per capita</i> , a relação inversa é fraca.	Hipótese de feedback
Sul Catarinense	Teste de causalidade homogênea	Causalidade de PIB <i>per capita</i> para consumo <i>per capita</i>	Hipótese de conservação
	Teste de causalidade heterogênea	Causalidade bidirecional partindo do PIB <i>per capita</i> para o consumo de energia <i>per capita</i> , a relação inversa é fraca.	Hipótese de feedback

Fonte: Elaborado pela autora.

A literatura empírica existente sobre a relação entre consumo de energia e crescimento econômico sobre Santa Catarina é escassa. Cada mesorregião tem suas características próprias, e não é válido tratar o estado como um todo igualmente. Os resultados dos testes de causalidade homogênea e heterogênea para o estado catarinense, naturalmente variam de local para local, assim como visto na revisão da literatura.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta pesquisa teve como objetivo examinar as relações de causalidade entre crescimento econômico e consumo de energia elétrica nas mesorregiões catarinenses entre os anos de 2002 a 2019. Compreender a relação estrutural entre estas variáveis é fundamental para formulação de políticas públicas e esclarecer se o consumo de energia elétrica pode ser considerado como gerador de valor.

Em um primeiro momento foi realizado uma revisão da literatura sobre economia da energia e crescimento econômico. Essa revisão auxiliou a estruturar a teoria para compreender o vínculo entre crescimento econômico e consumo de energia elétrica. Notou-se que existem quatro hipóteses, sendo elas: hipótese de crescimento que sugere que o consumo de energia leva ao crescimento econômico, hipótese de conservação sugere que o crescimento econômico precede o consumo de energia, hipótese de feedback sugere que as variáveis se relacionam entre si e a hipótese de neutralidade sugere que não há evidências de causalidade entre as variáveis.

Em seguida, foi realizado um levantamento de dados secundários em fontes oficiais de dados públicos. Por meio desse levantamento foi possível responder se existe relação causal entre crescimento econômico e consumo de energia elétrica em Santa Catarina e em suas mesorregiões a fim de saber se há causalidade e qual a ordem causal.

A aplicação do modelo econométrico que incluiu as variáveis defasadas e autorregressão possibilitou maior capacidade de captação dos efeitos do tempo sobre as variáveis PIB *per capita* e consumo de energia elétrica *per capita*. Os resultados mostraram heterogeneamente que para o estado catarinense como um todo, o consumo de energia elétrica repercute-se no crescimento econômico, sugerindo a hipótese de feedback onde as variáveis podem influenciar-se mutuamente.

Os resultados obtidos a partir do teste de causalidade homogênea e heterogênea das mesorregiões, sugere-se evidência da hipótese de neutralidade entre crescimento econômico e consumo de energia elétrica para ambos os testes nas mesorregiões da Grande Florianópolis e Vale do Itajaí. A hipótese auferida corrobora com a literatura de que as variáveis não tem relação causal entre si.

As mesorregiões Sul, Serrana e Oeste catarinense sugerem hipótese de conservação. A causalidade parte do PIB *per capita* para o consumo de energia elétrica *per capita*. Esse

resultado sugere que políticas de conservação do consumo de energia, como a redução dos gases de efeito estufa e melhorias da eficiência energética destinadas a diminuir o consumo e o desperdício de eletricidade tem pouco ou nenhum efeito adverso sobre o crescimento econômico. Essa literatura defende que a energia poderia ser um fator limitante ao incremento do produto.

Nas economias Sul e Serrana homogeneamente sugere que o crescimento limitado por questões relacionadas com infraestruturas pode gerar ineficiências ou diminuição da procura de bens e serviços incluindo o consumo de energia elétrica, resultando que aumentos do PIB *per capita* podem ter impactos negativos no consumo de energia elétrica.

A mesorregião Norte catarinense sugere evidências partindo do consumo de energia elétrica *per capita* para o PIB *per capita*. O resultado corrobora com a hipótese de crescimento, revelando que o consumo de energia elétrica desempenha um papel relevante no crescimento econômico.

Com o teste de causalidade heterogênea, as mesorregiões do Vale do Itajaí e do Sul catarinense sugerem hipótese de feedback. Os resultados apontam causalidade bidirecional do PIB *per capita* para o consumo de energia elétrica *per capita*, e para as relações inversa, essas evidências são fracas. A mesorregião Oeste evidencia causalidade para ao menos um subgrupo de municípios, e esta causalidade parte do consumo de energia elétrica *per capita* para o PIB *per capita*, ou seja, corrobora com a hipótese de crescimento. Por outro lado, na mesorregião Serrana, heterogeneamente a hipótese sugerida é de conservação, onde o crescimento econômico precede o consumo de energia elétrica *per capita*. Por fim, na mesorregião Norte catarinense sugere que não há evidência de causalidade.

A literatura econômica sobre evidências de causalidade é limitada para comparar os resultados, visto que os estudos se concentram em nível nacional e em grande parte internacional. Como sugestão à trabalhos futuros o aprofundamento das regiões com suas características próprias a fim de efetuar uma provisão do PIB dos municípios e replicar nos demais estados Brasileiros.

REFERÊNCIAS

- ACATE – Associação Catarinense de Tecnologia. Disponível em: < <https://www.acate.com.br/>> Acesso em: 10 fev. 2022.
- ALTINAY, G.; KARAGOL, E. Electricity consumption and economic growth: evidence from Turkey. **Energy Economics**, v. 27, p. 849-856, 2005.
- APERGIS, N.; PAYNE, J. E. Energy consumption and economic growth in Central America: evidence from a panel cointegration model. **Energy Economics**, v. 31 n. 2, 2009.
- AQELL, A.; BUTT, M.S. The relationship between energy consumption and economic growth in Pakistan. **Asia Pacific Development Journal**. n.8, 2001.
- BELK, A.; DOBNIK, F.; DREGER, C. Energy consumption and economic growth: New insights into the cointegration relationship. **Energy Economics**, v. 33 n. 5, p. 782-789, 2011.
- BEUREN, I. M.; RAUPP, F. M. Metodologia da pesquisa aplicável as ciências sociais. In: BEUREN, Ilse Maria (org). **Como elaborar trabalhos monográficos em contabilidade: teoria e prática**. 2. Ed. São Paulo: Atlas, 2004.
- CABRAL, Oswaldo R. História de Santa Catarina. Rio de Janeiro: **Laudes**, 1970.
- CELESC- Centrais Elétricas de Santa Catarina S.A – **Dados do consumo**. Disponível em:< <https://www.celesc.com.br/home/mercado-de-energia/dados-de-consumo>> Acesso: 10 dez 2021.
- CERVO, A. L.; BERVIAN, P.A. **Metodologia científica: para uso de estudantes universitários**. 3. Ed. São Paulo: McGraw- Hill do Brasil, 1983.
- CHENG, B.S.; LAI, T.W. Na investigation of co-integration and causality between energy consumption and economic activity in Taiwan. **Energy Economics**. n.19, 19997.
- Chontanawat, J.; Hunt, L. C.; Pierse. Does energy consumption cause economic growth?: Evidence from a systematic study of over 100 countries. **Journal of Policy Modeling**. v. 30, p. 209-220, 2008.
- Costantini, V., Martini, C., 2012. "The causality between energy consumption and economic growth: A multi-sectoral analysis using non-stationary cointegrated panel data.", **Energy Economics** 32(3), pp. 591-603.
- DESTEK, M. A.; SINHA, A. Renewable, non-renewable energy consumption, economic growth, trade openness and ecological footprint: Evidence from organisation for economic Co-operation and development countries. **Journal of Cleaner Production**, 242, 2020.

DUMITRESCU, E.; HURLIN, C. Testing for granger non-causality in heterogeneous panels. **Economics Modelling**, v. 29, n. 4, p. 1450-1460, 2012.

FERREIRA NETO, A.B.; CORREIA, W.L.R.; PEROBELLI, F.S. Consumo de energia e crescimento econômico: uma análise do Brasil no período de 1970-2009. **Revista Análises Econômicas**, v34, n.6, 2016.

FIESC – Federação das Indústrias do Estado de Santa Catarina – **Santa Catarina em dados 2015**. Disponível em: <https://fiesc.com.br/sites/default/files/inline-files/sc_em_dados_site_2015.pdf> Acesso em: 17 jan. 2022.

GADELHA, S. R. B.; CERQUEIRA, R. M. G. Consumo de Eletricidade e Crescimento Econômico no Brasil, 1952-2010: Uma Análise de Causalidade. **Faz Ciência** (UNIOESTE. Impresso), v. 16, p. 10-40, 2014.

Gerhardt, T.E; Silveira, D.T. Métodos de Pesquisa. Porto Alegre: **Editora da UFRGS**, 2009.

GOMES NETO, E. H. Hidrogênio, Evoluir Sem Poluir: a era do hidrogênio, das energias renováveis e das células a combustível. Curitiba: **Brasil H2 Fuel Cell Energy**, 2005.

GRANGER, C. W. J.; HUANG, L. Evaluation of panel data models: some suggestions from time series. San Diego: Mimeo U.C., 1997.

GRANGER, C. W. J. Investigating causal relations by econometric models and cross-spectral methods. **Econometrica**, v. 37, n. 3, p. 424-438, 1969.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/>>Acesso: 10 dez. 2021.

KASMAN, A. and DUMAN, Y. S. CO2 emissions, economic growth, energy consumption, trade and urbanization in new EU member and candidate countries: A panel data analysis. **Economic Modelling**, v. 44. P. 97-103, 2015.

Kasman, A., Duman, Y.S., 2015. CO2 emissions, economic growth, energy consumption, trade and urbanization in new EU member and candidate countries: a panel data analysis. **Economic Modelling**. 44, 97–103.

KOUAKOU, A. K. Economic growth and electricity consumption in Cote d'Ivoire: evidence from time series analysis. **Energy Policy**, v. 39, p. 3638-3644, 2011.

KRAFT, K.; KRAFT, A. On the relationship between energy and GNP. **Journal of Energy and Development**. n.3, p. 401-403, 1978.

Lee. C.H. Energy consumption and GDP in developing countries: A cointegrated panel analysis. **Energy Economics**. p. 415-427, 2005.

MAHADEVAN, R. and ADJAYE, A.J. Energy consumption, economic growth and prices: A reassessment-using panel VECM for developed and developing countries. **Energy Policy**, v. 35, p. 2481-2490, 2007.

MARCONI, Mariana de Andrade; LAKATOS, Eva Maria. **Fundamentos de metodologia científica**. 7. ed. São Paulo: Editora Atlas S.a., 2010. 297 p.

MENEGAKI, A. N. Growth and renewable energy in Europe: a random effect model with evidence for neutrality hypothesis. **Energy Consumption**, v. 33, p. 257-263, 2011.

MOZUMDER, P.; MARATHE, A. Causality relationship between electricity consumption and GDP in Bangladesh. **Energy Policy**, v. 35, p. 395-402, 2007.

MOZUMDER, P.; MARATHE, A. Causality relationship between electricity consumption and GDP in Bangladesh. **Energy Policy**, v. 35, p. 395-402, 2007.

ODHIAMBO, N. M. Electricity consumption and economic growth in South Africa: a trivariate causality test. **Energy Economics**, v. 31, p. 635-640, 2009.

Ouedraogo N. (2013). "Energy consumption and Human Development: Evidence from a panel cointegration and error correction model". **Energy**, v. 63, p. 28-41, 2013.

OZTURK, I. A literature survey on energy-growth nexus. **Energy Policy**. n. 38, p. 340-349, 2010.

PAO, H. T. Forecast of electricity consumption and economic growth in Taiwan by state space modeling. **Energy**, v. 34, p. 1179-1791, 2009.

PAYNE, J. E. On the dynamics of energy consumption and output in the US. **Applied Energy**, v. 86, p. 575-577, 2009.

RICHARDSON, Roberto Jarry. **Pesquisa social: métodos e técnicas**. 3.ed. São Paulo: Atlas,1999.

SEVERINO, Antônio Joaquim. **Metodologia do trabalho científico**. 23 ed. São Paulo: Cortez, 2007.

SILVEIRA, S. **Mesorregião Serrana (SC)**. 2016a

SILVEIRA, S. **Mesorregião Vale do Itajaí (SC)**. 2016b

SHAHBAZ, M.; TANG, C. F.; SHABBIR, M. S. Electricity consumption and economic growth nexus in Portugal using cointegration and causality approaches. **Energy Policy**, v. 39, p. 3529-3536, 2011.

SMIECH S.; PAPIEZ M. Energy consumption and economic growth in the light of meeting the targets of energy policy in the EU: The bootstrap panel Granger causality approach. **Energy Policy**, v.71 p. 118-129, 2014.

YOO, S. H.; KWAK, S. Y. Electricity consumption and economic growth in seven South American countries. **Energy Policy**, v. 38, p. 181-188, 2010.