

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO RIO GRANDE DO SUL  
UNIDADE UNIVERSITÁRIA EM NOVO HAMBURGO  
CURSO SUPERIOR DE ENGENHARIA EM ENERGIA

**GEORGIA ANDRADE TOMASZEWSKI**

**OBTENÇÃO DOS ÍNDICES MÉDIOS DE CLARIDADE ATMOSFÉRICA DIÁRIA  
E MENSAL PARA DIVERSAS LOCALIDADES DO ESTADO DO RIO GRANDE DO  
SUL**

NOVO HAMBURGO  
2017

**GEORGIA ANDRADE TOMASZEWSKI**

**OBTENÇÃO DOS ÍNDICES MÉDIOS DE CLARIDADE ATMOSFÉRICA DIÁRIA  
E MENSAL PARA DIVERSAS LOCALIDADES DO ESTADO DO RIO GRANDE DO  
SUL**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado como requisito para  
obtenção do título de Bacharel em  
Engenharia em Energia na Universidade  
Estadual do Rio Grande do Sul.

Orientador: Prof. Dr. Rafael Haag

NOVO HAMBURGO  
2017

**GEORGIA ANDRADE TOMASZEWSKI**

**OBTENÇÃO DOS ÍNDICES MÉDIOS DE CLARIDADE ATMOSFÉRICA DIÁRIA  
E MENSAL PARA DIVERSAS LOCALIDADES DO ESTADO DO RIO GRANDE DO  
SUL**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado como requisito para obtenção  
do título de Bacharel em Engenharia em  
Energia na Universidade Estadual do Rio  
Grande do Sul.

Orientador: Prof. Dr. Rafael Haag

Aprovado em: / /

**BANCA EXAMINADORA**

---

Orientador: Prof. Dr. Rafael Haag  
Universidade Estadual do Rio Grande do Sul

---

Prof. Dr. Fabiano Perin Gasparin  
Universidade Estadual do Rio Grande do Sul

---

Prof. Dr. Mario Henrique Macagnan  
Universidade do Vale do Rio dos Sinos

*À minha família, em especial ao meu pai (in memoriam).*

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço à minha família, pelo apoio em todos os momentos, por me ajudarem nos momentos decisivos da minha formação e abraçarem todas as minhas decisões. Agradeço especialmente ao meu namorado, Matheus Di Giorgio Ramos, por toda ajuda durante o desenvolvimento deste trabalho.

Agradeço à minha parceira da etapa inicial do trabalho, Raiana Schirmer Soares, pela ajuda e paciência na etapa de tratamento e qualificação de dados.

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Rafael Haag, pela orientação e paciência durante todo esse semestre. Aproveito para agradecer a todos os professores, colegas e comunidade acadêmica da UERGS por todo apoio e flexibilidade que sempre facilitaram e incentivaram a minha jornada acadêmica.

## RESUMO

A preservação do meio ambiente tem sido um dos principais assuntos discutidos quando tratamos das fontes de energia atuais. O desenvolvimento de novos projetos - a partir de fontes alternativas além dos conhecidos combustíveis fósseis - têm se mostrado como uma boa saída para a tentativa de minimizar os prejuízos ao meio ambiente. A energia solar mostra-se como uma atraente saída para a preservação ambiental, tendo em vista que pode ser utilizada tanto para aquecimento como para geração de energia elétrica. Importante ressaltar que, diversas fontes de energia são formas indiretas da energia solar, como a eólica ou a biomassa, portanto o conhecimento do potencial de radiação solar torna-se atraente para diversas áreas. Para utilizar-se da energia solar com uma maior eficiência necessita-se conhecer o seu desempenho, as suas variações e os fatores que influenciam a obtenção do seu máximo potencial. Nesse trabalho buscou-se conhecer o comportamento do índice de claridade atmosférica de diversas localidades do estado do Rio Grande do Sul, tendo em vista que, esse índice serve como um indicativo das condições atmosféricas, mostrando com maior clareza as variações da radiação global em função do clima. Os dados utilizados no desenvolvimento desse trabalho foram disponibilizados pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), passando pelas seguintes etapas: a qualificação inicial do banco de dados obtidos, o tratamento dos históricos de radiação de cada cidade estudada, os cálculos para obtenção das irradiações e, por fim, os cálculos dos índices de claridade atmosférica (Kt) para todos os municípios. Os resultados obtidos através da metodologia empregada foram os valores médios mensais do índice de claridade atmosférica, da irradiação global horizontal, da irradiação extraterrestre horizontal e o índice médio de claridade atmosférica diária, para 34 municípios do estado do Rio Grande do Sul. Os valores mínimos e máximos da irradiação global horizontal encontrados foram: 2,16 kWh/m<sup>2</sup> no mês de julho na cidade de Porto Alegre e 7,52 kWh/m<sup>2</sup> no mês de dezembro na cidade de Bagé. Pode-se concluir que o índice de claridade atmosférico médio mensal máximo de 0,62 ocorreu em dezembro na cidade de Bagé e o valor mínimo de 0,41 foi encontrado em Camaquã durante o mês de setembro.

**Palavras – chave:** Radiação Solar. Índice de claridade atmosférica. Componentes atmosféricos. Energia solar no Rio Grande do Sul.

## ABSTRACT

The preservation of the environment has been one of the main topics discussed as we deal with current energy sources. The development of new projects - from alternative sources beyond the well-known fossil fuels - has proven to be a good way out of the attempt to minimize the damage to the environment. Solar energy shows itself as an attractive solution for environmental preservation, given that it can be used for both heating and electric power generation. It is important to emphasize that several energy sources are indirect forms of solar energy, such as wind or biomass, so the knowledge of the potential of solar radiation becomes attractive for several areas. In order to use solar energy more efficiently, it is necessary to know its performance, its variations and the factors that influence the attainment of its maximum potential. In this work, we sought to know the behavior atmospheric clearness index (Kt) of several locations in the state of Rio Grande do Sul, considering that this index serves as an indication of the atmospheric conditions, showing with greater clarity the variations of the global radiation in function of the climate. The data used in the development of this work were made available by the National Institute of Meteorology (INMET), through the following steps: the initial qualification of the database obtained, the treatment of the radiation histories of each city studied, calculations to obtain the irradiations and, finally calculations of the atmospheric clearness index for all cities. The results obtained through the methodology used were the average monthly values of the atmospheric clearness index, global horizontal irradiation, horizontal extraterrestrial irradiance and the average daily of clearness index for 34 municipalities in the state of Rio Grande do Sul. The minimum and maximum values of horizontal global irradiation were: 2.16 kWh / m<sup>2</sup> in July in the city of Porto Alegre and 7.52 kWh / m<sup>2</sup> in the month of December in the city of Bagé. It can be concluded that the maximum of the average monthly clearness index of 0.62 occurs in December at Bagé and the minimum value of 0.41 was found at Camaquã during September.

**Keywords:** Solar radiation. Atmospheric clearness index. Atmospheric components. Solar energy in Rio Grande do Sul.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Componentes da radiação solar.....	16
Figura 2 - Variações diárias das médias mensais horárias no período de seca .....	21
Figura 3 - Variações diárias das médias mensais horárias no período de chuvas .....	22
Figura 4 - Croqui do cercado de uma estação meteorológica automática .....	23
Figura 5 - Piranômetro Termoelétrico .....	24
Figura 6 - Pirheliômetro.....	25
Figura 7 - Piranômetro com disco de sombreamento .....	25
Figura 8 - Medições em um dia com pouca nebulosidade .....	26
Figura 9 - Medições em um dia predominantemente nublado.....	26
Figura 10 - Distribuição dos municípios com disponibilidade de dados para o estudo. ...	27
Figura 11 – Análise do índice $Kt$ diário para o município de Alegrete. ....	37
Figura 12 – Análise do índice $Kt$ diário mínimos para o município de Bagé.....	37
Figura 13 – Análise do índice $Kt$ diário para o município de Bento Gonçalves.....	38
Figura 14 – Análise do índice $Kt$ diário para o município de Caçapava do Sul.....	38
Figura 15 – Análise do índice $Kt$ diário para o município de Camaquã.....	38
Figura 16 – Análise do índice $Kt$ diário para o município de Canela. ....	39
Figura 17 – Análise do índice $Kt$ diário para o município de Canguçu. ....	39
Figura 18 – Análise do índice $Kt$ diário para o município de Cruz Alta.....	39
Figura 19 – Análise do índice $Kt$ diário para o município de Dom Pedrito.....	40
Figura 20 – Análise do índice $Kt$ diário para o município de Erechim. ....	40
Figura 21 – Análise do índice $Kt$ diário para o município de Frederico Westphalen. ....	40
Figura 22 – Análise do índice $Kt$ diário para o município de Jaguarão. ....	41
Figura 23 – Análise do índice $Kt$ diário para o município de Lagoa Vermelha.....	41
Figura 24 – Análise do índice $Kt$ diário para o município de Mostardas. ....	41
Figura 25 – Análise do índice $Kt$ diário para o município de Palmeira das Missões. ....	42
Figura 26 – Análise do índice $Kt$ diário para o município de Passo Fundo.....	42
Figura 27 – Análise do índice $Kt$ diário para o município de Porto Alegre.....	42
Figura 28 – Análise do índice $Kt$ diário para o município de Quaraí.....	43
Figura 29 – Análise do índice $Kt$ diário para o município de Rio Grande.....	43
Figura 30 – Análise do índice $Kt$ diário para o município de Rio Pardo. ....	43
Figura 31 – Análise do índice $Kt$ diário para o município de Santa Maria.....	44
Figura 32 – Análise do índice $Kt$ diário para o município de Santa Rosa. ....	44
Figura 33 – Análise do índice $Kt$ diário para o município de Santana do Livramento.....	44



Figura 34 – Análise do índice $Kt$ diário para o município de Santiago. ....	45
Figura 35 – Análise do índice $Kt$ diário para o município de Santo Augusto. ....	45
Figura 36 – Análise do índice $Kt$ diário para o município de São Borja. ....	45
Figura 37 – Análise do índice $Kt$ diário para o município de São Gabriel. ....	46
Figura 38 – Análise do índice $Kt$ diário para o município de São José dos Ausentes. ....	46
Figura 39 – Análise do índice $Kt$ diário para o município de São Luís Gonzaga. ....	46
Figura 40 – Análise do índice $Kt$ diário para o município de Soledade. ....	47
Figura 41 – Análise do índice $Kt$ diário para o município de Torres. ....	47
Figura 42 – Análise do índice $Kt$ diário para o município de Tramandaí. ....	47
Figura 43 – Análise do índice $Kt$ diário para o município de Uruguaiana. ....	48
Figura 44 – Análise do índice $Kt$ diário para o município de Vacaria. ....	48

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Análise do índice <i>Kt</i> mensal para os municípios de Alegrete, Bagé e Bento Gonçalves.....	33
Tabela 2 - Análise do índice <i>Kt</i> mensal para os municípios de Caçapava do Sul, Camaquã e Canela.....	33
Tabela 3 - Análise do índice <i>Kt</i> mensal para os municípios de Canguçu, Cruz Alta e Dom Pedrito.....	34
Tabela 4 – Análise do índice <i>Kt</i> mensal para os municípios de Erechim, Frederico Westphalen e Jaguarão.....	34
Tabela 5 – Análise do índice <i>Kt</i> mensal para os municípios de Lagoa Vermelha, Mostardas e Palmeira das Missões.....	34
Tabela 6 - Análise do índice <i>Kt</i> mensal para os municípios de Passo Fundo, Porto Alegre e Quaraí.....	35
Tabela 7 - Análise do índice <i>Kt</i> mensal para os municípios de Rio Grande, Rio Pardo e Santa Maria.....	35
Tabela 8 - Análise do índice <i>Kt</i> mensal para os municípios de Santa Rosa, Santana do Livramento e Santiago.....	35
Tabela 9 – Análise do índice <i>Kt</i> mensal para os municípios de Santo Augusto, São Borja e São Gabriel.....	36
Tabela 10– Análise do índice <i>Kt</i> mensal para os municípios de São José dos Ausentes, São Luiz Gonzaga e Soledade.....	36
Tabela 11 – Análise do índice <i>Kt</i> mensal para os municípios de Torres, Tramandaí, Uruguaiana e Vacaria.....	36

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Variação da Radiação extraterrestre com o período do ano.....	17
Gráfico 2 - Ocorrência de lacunas de dados no município de Vacaria entre os dias 13 e 14 de janeiro de 2012 .....	28

## LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

INMET	Instituto Nacional de Meteorologia	
EMA	Estações Meteorológicas Automáticas	
$K_t$	Índice de Claridade Atmosférica Diário	[Adimensional]
$k_t$	Índice de Claridade Atmosférica Horário	[Adimensional]
$\overline{K_t}$	Índice de Claridade Atmosférica Médio Diário	[Adimensional]
$G_{on}$	Radiação Extraterrestre Horizontal	[W/m <sup>2</sup> ]
TSI	Irradiância Solar Extraterrestre Total	[W/m <sup>2</sup> ]
$G_{sc}$	Constante Solar	[W/m <sup>2</sup> ]
$H_o$	Irradiação Solar extraterrestre Horizontal Diária	[kW/m <sup>2</sup> ]
H	Irradiação Solar Global Horizontal Diária	[kW/m <sup>2</sup> ]
$I_o$	Irradiação Solar Extraterrestre Horizontal Horária	[kW/m <sup>2</sup> ]
I	Irradiação Solar Global Horizontal Horária	[kW/m <sup>2</sup> ]
$\omega_s$	Ângulo de nascimento do Sol	[Graus]
$\delta$	Ângulo de Declinação	[Graus]
$\phi$	Latitude	[Graus]

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	13
1.1 OBJETIVO GERAL.....	14
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	14
<b>2 RADIAÇÃO SOLAR</b> .....	15
2.1 COMPONENTES DA RADIAÇÃO SOLAR.....	15
2.2 RADIAÇÃO SOLAR EXTRATERRESTRE .....	16
2.3 DEFINIÇÕES DE TERMOS .....	17
<b>3 ATENUAÇÃO ATMOSFÉRICA DA RADIAÇÃO SOLAR</b> .....	18
3.1 COMPONENTES ATMOSFÉRICOS.....	18
3.2 PROCESSOS FÍSICOS.....	19
3.3 ÍNDICE DE CLARIDADE ATMOSFÉRICA (Kt).....	20
<b>4 MEDIÇÕES</b> .....	23
4.1 ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS AUTOMÁTICAS.....	23
4.2 APARELHOS DE MEDIÇÃO.....	24
<b>5 METODOLOGIA</b> .....	27
5.1 QUALIFICAÇÕES DE DADOS.....	28
5.2 METODOLOGIAS DE TRATAMENTO DE DADOS.....	29
5.2.1 ADAPTAÇÕES NO PREENCHIMENTO DE DADOS FALTANTES .....	29
5.3 OBTENÇÕES DA IRRADIAÇÃO GLOBAL HORIZONTAL.....	30
5.4 OBTENÇÕES DA IRRADIAÇÃO EXTRATERRESTRE HORIZONTAL.....	30
5.5 OBTENÇÕES DO ÍNDICE DE CLARIDADE ATMOSFÉRICA (Kt) .....	31
<b>6 RESULTADOS</b> .....	33
<b>7 CONCLUSÕES</b> .....	49
<b>8 PESQUISAS FUTURAS</b> .....	50
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	51

## 1 INTRODUÇÃO

O aumento da demanda e consumo de energia decorrente do progresso tecnológico e do avanço no desenvolvimento humano são apontados como os fatores mais importantes na aceleração das alterações climáticas e ambientais (PEREIRA *et al.*, 2006). Com a crescente preocupação com a preservação do meio ambiente, fontes de energia menos poluentes e renováveis tornaram-se cada vez mais estudadas.

Quase todas as fontes de energia conhecidas – hidráulica, biomassa, eólica, combustível fóssil e energia dos oceanos – são formas indiretas da energia solar. Além disso, pode-se aproveitar a energia solar tanto em sistemas solares de aquecimento, de ambientes ou fluidos, por exemplo, quanto em sistemas fotovoltaicos para a geração de energia elétrica.

A energia solar representa uma parcela pequena da matriz energética global, mas possui perspectivas positivas. A rápida expansão da capacidade instalada nos últimos anos atrelada à redução de custos, o imenso potencial técnico de aproveitamento e o fato de não emitirem poluentes durante sua operação, fez com que o mundo voltasse sua atenção para a energia solar (TOLMASQUIM, 2016).

Uma das grandes vantagens da utilização de fontes renováveis é a sua abundância na natureza e a conseqüente independência da situação econômica, política e social dos países beneficiados, viabilizando, assim, o desenvolvimento de regiões com grande potencial de exploração. É de extrema importância conhecer a disponibilidade de tais recursos para auxiliar na identificação dessas regiões e na correta utilização dos sistemas de aproveitamento dessas fontes de energia.

O Brasil possui elevados índices de irradiação em quase todo o território nacional. Adicionalmente, a proximidade com a linha do equador faz com que haja pouca variação na incidência solar ao longo do ano. Dessa forma, mesmo no inverno pode haver níveis de irradiação suficientes para o aproveitamento dessa fonte de energia. Essas condições conferem ao país vantagens para o aproveitamento energético do recurso solar (TOLMASQUIM, 2016).

A energia solar apresenta um comportamento temporal com grandes variações, as quais estão diretamente associadas com a variabilidade das condições meteorológicas locais. A quantidade de radiação solar global incidente em qualquer

região da superfície terrestre depende, dentre outros fatores, das características climáticas apresentadas. Conforme fundamentado por Myers (2013) componentes atmosféricos como o vapor de água, os aerossóis e as nuvens - altamente variáveis no tempo e determinantes na transmissividade atmosférica - podem alterar significativamente as parcelas da radiação solar global, por fenômenos como: espalhamento, reflexão, difusão ou absorção.

Dada a considerável importância do estudo de diferentes fontes alternativas de energia, ao aprofundar-se em uma fonte como a energia solar, necessita-se o conhecimento de todos os fatores influenciadores do seu potencial de geração. Conhecer a influência dos componentes atmosféricos de uma determinada região permite determinar a variação dos níveis de energia solar do local, e conseqüentemente, aumentar a eficiência de projetos influenciados por essa fonte energética.

## 1.1 OBJETIVO GERAL

O presente trabalho tem como objetivo obter os valores médios mensais e diários para o índice de claridade atmosférica em diversas localidades do estado do Rio Grande do Sul. A partir da análise de um conjunto de dados obtidos através das estações meteorológicas automáticas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) em 38 municípios, estabelecer parâmetros e cálculos necessários, a fim de serem disponibilizados para a utilização em projetos de exploração da energia solar na região.

## 1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Para construção do resultado estabelecido determinam-se os objetivos intrínsecos do estudo:

- Validar a metodologia de interpolação dos dados coletados pelas estações meteorológicas nas diferentes localidades estudadas, deste modo determinando os valores faltantes sem grandes variações, através do método estabelecido;
- Calcular os índices determinados para cada cidade estudada a partir dos dados já qualificados.

## 2 RADIAÇÃO SOLAR

A energia proveniente do Sol constitui-se de uma fonte energética inesgotável, possuindo grandes potenciais de exploração, tanto para fins térmicos como elétricos. Por ser uma fonte de energia relativamente limpa e de longa duração, torna-se uma alternativa atraente para diminuir a dependência do setor energético dos combustíveis fósseis.

Conhecer o potencial da radiação solar, bem como, estudar e avaliar dados de irradiações em localidades específicas não é relevante apenas quando se interessa na conversão ou captação dessa fonte. Estudar a radiação solar é, também, de extrema relevância em áreas como: agricultura, hidrologia, astronomia, climatologia, entre outras.

### 2.1 COMPONENTES DA RADIAÇÃO SOLAR

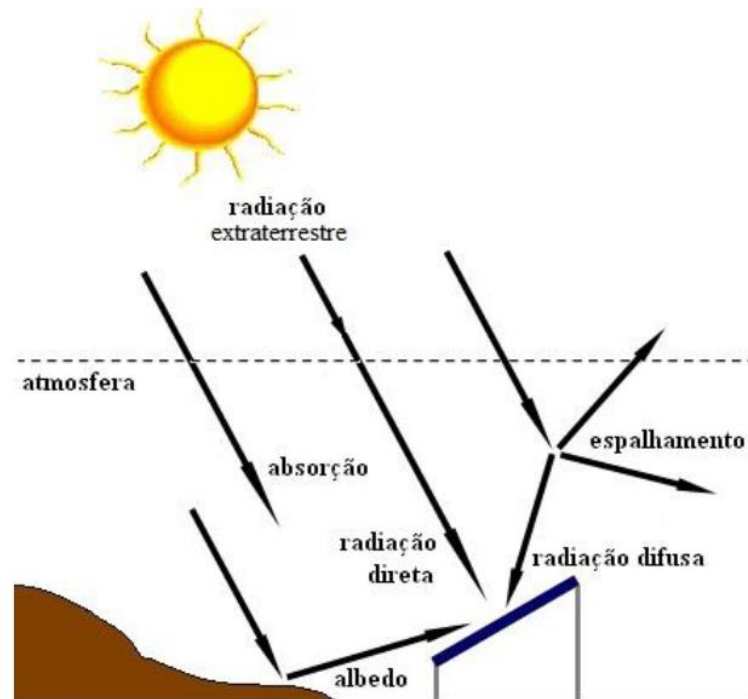
Conforme elucidado por Pinho *et al.* (2008) a radiação solar é do tipo eletromagnética e, portanto, se propaga na velocidade da luz. A quantidade de radiação que atinge a superfície terrestre não é constante, podendo ser influenciada por condições climáticas gerais, como a nebulosidade atmosférica.

A atmosfera terrestre é formada, basicamente, por uma mistura de gases, água - em diferentes estados - e por pequenas partículas suspensas, chamadas de aerossóis. Estes componentes atmosféricos provocam grandes atenuações na radiação solar, podendo ser causadas por um componente isolado ou um conjunto deles. Por esta razão, é possível decompor a radiação incidente na superfície terrestre em duas componentes específicas: a direta e a difusa (MYERS, 2013).

A radiação solar global é a soma das parcelas de radiação direta e da radiação difusa que incidem sobre uma superfície, conforme ilustrado na Figura 1. A radiação direta é a radiação recebida do Sol sem ter sofrido interferências atmosféricas, já a radiação difusa é a parcela da radiação solar que é espalhada ou refletida por componentes atmosféricos. O albedo - radiação refletida pelas superfícies terrestres - é considerado parte da radiação difusa. (DUFFIE; BECKMAN, 2013).



Figura 1 - Componentes da radiação solar.



Fonte: PINHO *et al.* (2008)

## 2.2 RADIAÇÃO SOLAR EXTRATERRESTRE

Devido à distância e a relação espacial entre o Sol e a Terra, a radiação solar que chega a uma superfície, fora da atmosfera terrestre, perpendicular aos raios solares, é quase fixa, sendo denominada de constante solar. O valor da constante solar é de  $1367 \text{ W/m}^2$ , porém, vale ressaltar que este é um valor médio, pois a emissão da radiação solar não é constante com o passar do tempo. (DUFFIE; BECKMAN, 2013).

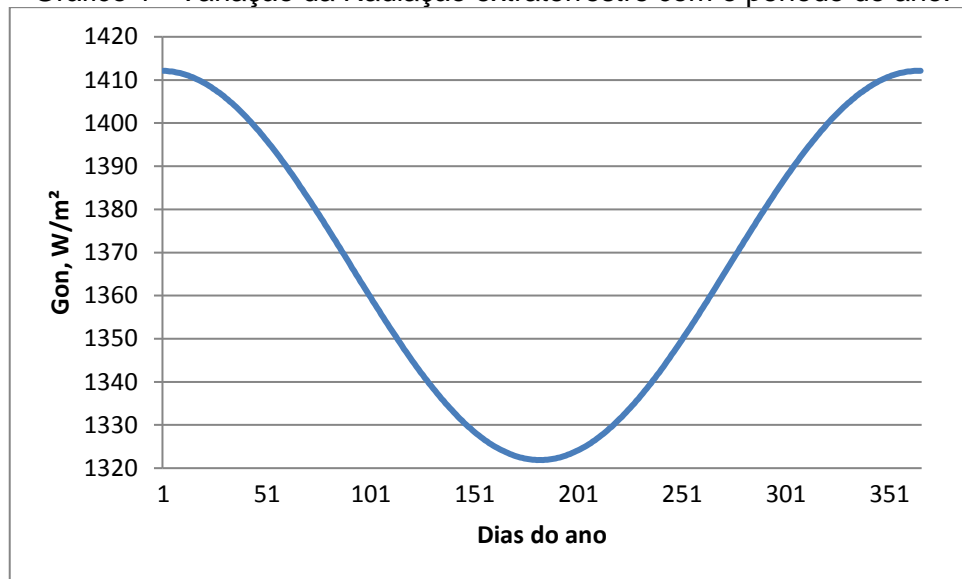
Importante mencionar que, o termo “constante solar”, depois de poucas décadas de monitoramento através de satélites, foi colocado em dúvida, pois a emissão solar eletromagnética possui variações ao longo do tempo. Atualmente, esse termo é mais bem definido por irradiância solar extraterrestre total, abreviada na literatura por TSI – do inglês Total Solar Irradiance. O termo “constante solar” deve referir-se apenas ao valor médio ao longo de vários anos da TSI (HAAG, 2007).

A dependência da radiação extraterrestre do período do ano é indicada pela Equação 1 e ilustrada no Gráfico 1, onde  $G_{on}$  é a radiação extraterrestre com

incidência normal,  $n$  corresponde ao dia do ano e  $G_{sc}$  é a constante solar. Para a engenharia a energia emitida pelo Sol é considerada fixa, não levando em consideração a ocorrência de manchas solares que podem alterar a intensidade da radiação solar que chega a Terra.

$$G_{on} = G_{sc} \cdot \left( 1 + 0,033 \cdot \cos \cdot \left( \frac{360 \cdot n}{365} \right) \right) \quad (1)$$

Gráfico 1 - Variação da Radiação extraterrestre com o período do ano.



Fonte: Autora (2017).

### 2.3 DEFINIÇÕES DE TERMOS

São de grande importância, dentro da radiação solar, a definição dos termos irradiância e irradiação. A irradiância é a taxa de energia radiante que incide sobre uma superfície, por unidade de área da superfície. A irradiação é a energia incidente por unidade de área sobre uma superfície, ela pode ser encontrada matematicamente a partir da integração da irradiância sobre um tempo especificado, normalmente, hora ou dia. As unidades de irradiância e irradiação são  $W/m^2$  e  $J/m^2$ , respectivamente (DUFFIE; BECKMAN, 2013).

### 3 ATENUAÇÃO ATMOSFÉRICA DA RADIAÇÃO SOLAR

A radiação solar incidente na superfície terrestre está sujeita a variações devido às mudanças da radiação extraterrestre e a fenômenos como: espalhamento e absorção atmosférica. Tais fenômenos tem sua ocorrência relacionada à interferência de componentes atmosféricos, tais como: moléculas de ar, água – em diferentes estados – O<sub>3</sub> e CO<sub>2</sub> (DUFFIE; BECKMAN, 2013).

A atmosfera age como um filtro afetando as parcelas da radiação solar incidente na superfície terrestre. Gases atmosféricos, aerossóis, vapor de água, nuvens e uma variedade de poluentes modificam a radiação solar tanto no seu comprimento de onda quanto na sua distribuição espectral. Por tal razão, os componentes, bem como, as características atmosféricas locais são determinantes, quantitativa e qualitativamente, para a porção de radiação solar recebida pela superfície terrestre (MYERS, 2013).

Quando a radiação solar atravessa a atmosfera, a sua intensidade é modificada por processos físicos característicos, sendo eles: a difusão, a absorção, o espalhamento e a reflexão. Os processos de espalhamento e reflexão são casos particulares e específicos da difusão. Esses processos podem ocorrer separados ou simultâneos, por exemplo, as nuvens além de refletir, absorvem e espalham a radiação incidente.

#### 3.1 COMPONENTES ATMOSFÉRICOS

A atmosfera é constituída por diversos componentes, contudo, três grupos distintos de componentes são geralmente analisados quando se estuda a composição atmosférica, sendo eles: as moléculas do ar seco, o vapor de água e os aerossóis. Cada um atenua a radiação solar de forma distinta e em comprimentos de onda característicos.

Entende-se que as moléculas de ar são compostas por diversos gases, e que alguns deles não se distribuem de forma homogênea no tempo e no espaço. Tais variações podem ser provocadas por atividade industrial e rural local, ou até mesmo pela própria dinâmica da atmosfera. Um exemplo é o dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>),

sendo suas duas principais fontes: a emissão proveniente da queima de combustível fóssil e a emissão natural resultante de erupções vulcânicas (WARNECK, 1988).

Aerossóis podem ser definidos como o conjunto de partículas sólidas ou líquidas em suspensão em um meio gasoso. Os aerossóis são divididos entre dois grupos: continental e marinho. Os aerossóis marinhos representam a maior parte de aerossóis na atmosfera. Os continentais ainda podem ser subdivididos entre rural e urbano. Os urbanos possuem características dadas pela atividade antropogênica – derivados de atividades humanas como a queima de combustível fóssil - nos grandes centros populacionais, já os aerossóis rurais tem partículas originadas a partir da atividade orgânica vegetal ou da queima de biomassa (HAAG, 2007).

A evaporação dos oceanos, rios e lagos, juntamente com a transpiração da vegetação em grandes florestas são fontes de vapor de água para a atmosfera (HAAG, 2007). Sendo o vapor de água presente na atmosfera o principal gás responsável pelo efeito estufa no nosso planeta. Este gás desempenha um importante papel no ciclo de vida das nuvens e na precipitação.

### 3.2 PROCESSOS FÍSICOS

Os processos físicos que podem alterar as parcelas da radiação global dependem das características atmosféricas locais como exposto anteriormente, sendo a presença de determinados componentes atmosféricos um facilitador para a ocorrência desses fenômenos físicos. A difusão ocorre através da interação das ondas eletromagnéticas com a matéria, sendo essa interação responsável por irradiar novamente essa energia em todas as direções, ocorrendo para todos os comprimentos de ondas dentro do espectro eletromagnético.

Já a absorção da radiação pelas partículas se dá na conversão da energia incidente em energia interna, a qual poderá ou não ser irradiada posteriormente. A absorção é consideravelmente influenciada por componentes atmosféricos como o ozônio, vapor d'água e dióxido de carbono (DUFFIE; BECKMAN, 2013).

A radiação solar é uma das variáveis meteorológicas mais afetadas pela presença da nebulosidade, visto que as nuvens absorvem grande parte da radiação solar no comprimento de onda do infravermelho e atenuam a componente direta da radiação por difusão, ou seja, a nebulosidade do céu resulta em diferentes

quantidades de radiação incidentes sobre uma superfície (MYERS, 2013). Outros fatores como, a presença de aerossóis na atmosfera, também influenciam a intensidade da radiação solar. Os aerossóis podem influenciar diretamente, através da difusão da componente direta e absorção da fração ultravioleta e indiretamente, influenciando os processos de formação de chuvas.

O processo de espalhamento pode ser considerado como se uma parcela da radiação incidente fosse retida e, logo após, emitida em todas as direções, sem alteração do comprimento de onda. Na atmosfera, o espalhamento ocorre quando a radiação incide nos aglomerados de moléculas de ar. Como a radiação é enviada em todas as direções, resulta que parte da radiação retorna ao espaço, enquanto a outra parte atinge o solo (DUFFIE; BECKMAN, 2013).

A reflexão ocorre sempre que a radiação solar encontra alguma superfície irregular e é espalhada em determinadas direções. A ocorrência deste fenômeno físico, de atenuação da radiação, não se dá apenas pela presença dos componentes atmosféricos como nuvens e aerossóis, mas também, pelo solo. Por tal razão, a quantidade de radiação que será refletida depende, dentre outros fatores, do tipo de cobertura da superfície a ser estudada. Como na ocorrência de outros fenômenos, o céu mais nebuloso é um facilitador deste processo físico, em dias em que o céu se encontra completamente nublado, uma grande quantidade da radiação incidente é refletida pelas nuvens, retornando ao espaço.

### 3.3 INDICE DE CLARIDADE ATMOSFÉRICA (Kt)

O índice de cobertura das nuvens ou índice de claridade atmosférica (Kt) é definido como a razão entre a radiação solar na superfície terrestre e a radiação solar extraterrestre. O índice Kt, normalmente, apresenta uma grande variabilidade diária e mensal, seu valor varia, também, conforme as estações climáticas e de ano para ano, sendo dependente das condições atmosféricas.

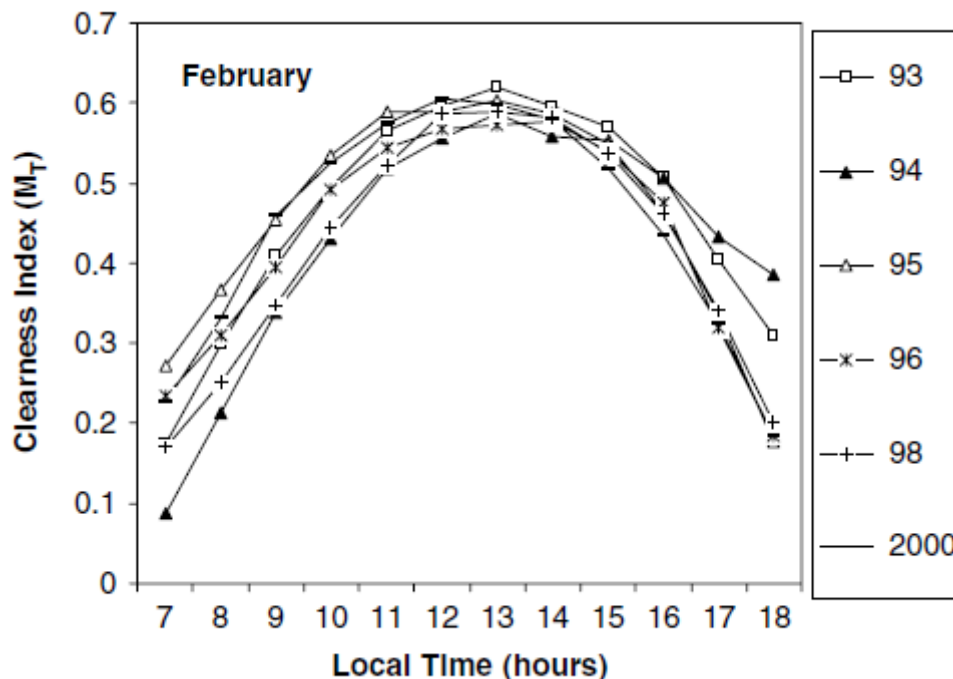
O conhecimento sobre Kt é de grande importância para elaboração de projetos de pesquisa ou desenvolvimento de sistemas em áreas como: energia solar - térmica ou fotovoltaica - bioenergia, climatologia, arquitetura, agronomia, entre outras.

O Kt é um indicador dos processos de absorção e espalhamento da radiação por componentes atmosféricos - nuvens, aerossóis, vapor d'água, entre outros - que interferem na transmissão da radiação solar global através da atmosfera. O índice Kt também é conhecido na literatura por expressar a condição de nebulosidade do céu (DAL PAI; ESCOBEDO, 2015). Valores baixos de Kt indicam grande presença de nuvens, ou baixa radiação solar global em relação à extraterrestre. Valores altos de Kt indicam céu limpo ou com pouca nebulosidade.

As nuvens são grandes atenuadoras da radiação solar, por tal razão, para uma projeção de um sistema de aproveitamento da energia solar, além da quantidade média de energia disponível, é também necessário ter conhecimento da frequência de dias de céu nebuloso da localidade desejada. O índice de claridade serve como um indicativo das condições atmosféricas, mostrando com maior clareza as variações da radiação global em função do clima (TERAMOTO, 2010).

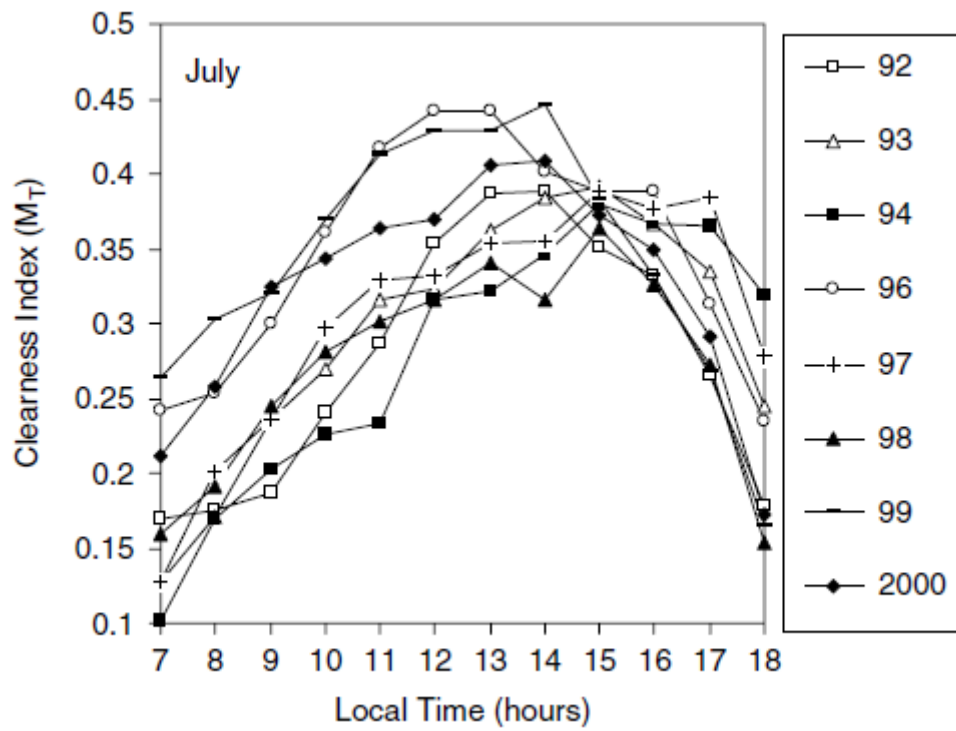
Okogbue *et al.* (2009) mostram em um estudo para a cidade de Ile-Ife, Nigéria, para um período de março de 1992 até dezembro de 2002, variações diárias das médias mensais horárias para o Kt em dois períodos, o de seca e o de chuvas, ilustrados nas Figuras 2 e 3, respectivamente. Tais gráficos conseguem exemplificar de certa maneira o que foi explanado anteriormente.

Figura 2 - Variações diárias das médias mensais horárias no período de seca.



Fonte: Okogbue *et al.* (2009)

Figura 3 - Variações diárias das médias mensais horárias no período de chuvas.



Fonte: Okogbue *et al.* (2009)

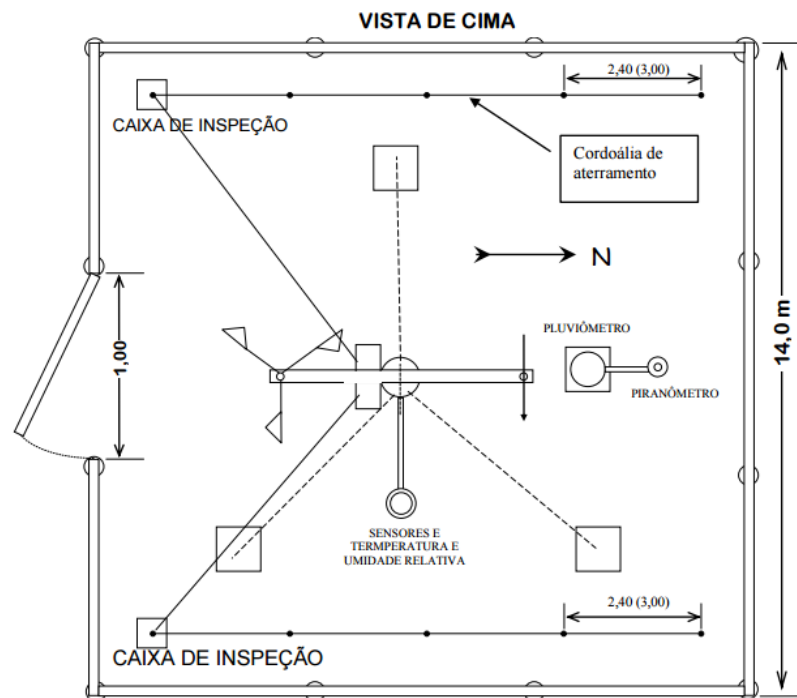
## 4 MEDIÇÕES

Conhecer o recurso solar é de grande importância para um projeto de conversão e captação da energia solar. É de interesse da área de Engenharia Solar o conhecimento dos valores da irradiância ou irradiação global e de suas componentes direta e difusa incidentes em uma superfície.

### 4.1 ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS AUTOMÁTICAS

Uma estação meteorológica automática (EMA) do INMET, como a ilustrada na Figura 4, coleta, de minuto em minuto, as informações meteorológicas representativas da área em que está localizada. A cada hora, estes dados são integralizados e disponibilizados para serem transmitidos, e posteriormente, são validados por um controle de qualidade e armazenados em um banco de dados. Após esse processo, ficam disponibilizados, gratuitamente, através de meios eletrônicos podendo ser utilizados para a elaboração de previsão do tempo local ou para diversas aplicações de pesquisa (INMET, 2011).

Figura 4 - Croqui do cercado de uma estação meteorológica automática



Fonte: INMET (2011).



## 4.2 APARELHOS DE MEDIÇÃO

A coleta de dados referentes à radiação solar captados em uma estação meteorológica automática é feita através de sensores de medição. Existem dois instrumentos muito utilizados nas medições de radiação solar, estes são, o piranômetro, ilustrado na Figura 5 e utilizado para as medições nas EMAs, e o pirheliômetro ilustrado na Figura 6.

O pirheliômetro mede o fluxo de radiação solar direta, com incidência normal. Já o piranômetro mede a radiação solar incidente na superfície, ou seja, a radiação global. Dependendo da sua posição e da combinação com outros elementos, o piranômetro pode medir determinadas parcelas da radiação solar, por exemplo, em combinação com um disco de sombreamento ilustrado na Figura 7, mede somente a radiação difusa, já quando ele é colocado inclinado mede a radiação global no plano inclinado, incluindo o albedo, conforme MARTINAZZO (2004).

Figura 5 - Piranômetro Termoelétrico



Fonte: Pinho; Galdinho (2014).

Figura 6 - Pirheliômetro



Fonte: Pinho; Galdinho (2014).

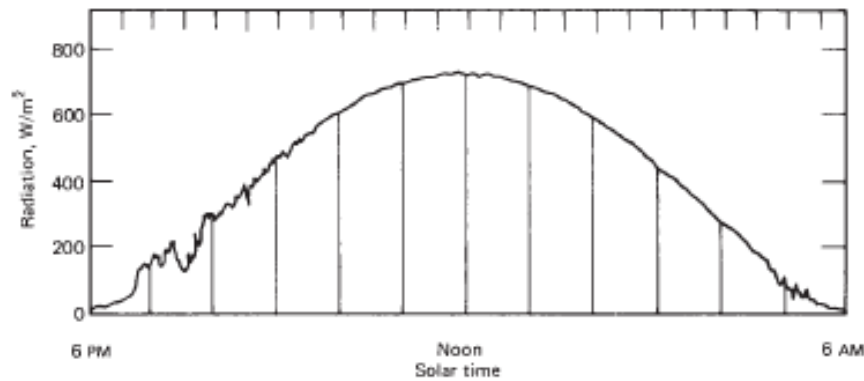
Figura 7 - Piranômetro com disco de sombreamento



Fonte: Pinho; Galdinho (2014).

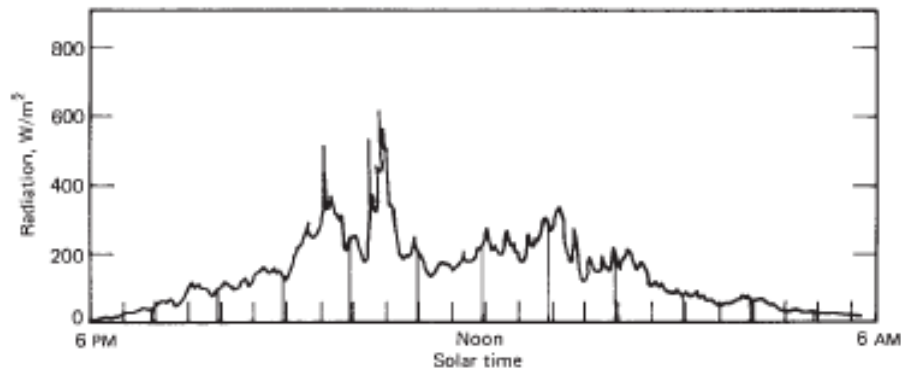
As medições de radiação solar são disponibilizadas em diversas formas. É de grande importância conhecer as variáveis da medição, como, se as medições são instantâneas, se caracterizando como medições de irradiância, ou integradas sobre um período de tempo, medições de irradiação, o período de medições, a orientação da superfície, entre outros fatores. Na Figura 8, estão demonstrados os resultados de medições de um piranômetro termoeletrico em um dia com pouca nebulosidade e na Figura 9, para um dia predominantemente nublado.

Figura 8 - Medições em um dia com pouca nebulosidade



Fonte: DUFFIE; BECKMAN, (2013).

Figura 9 - Medições em um dia predominantemente nublado



Fonte: DUFFIE; BECKMAN, (2013).

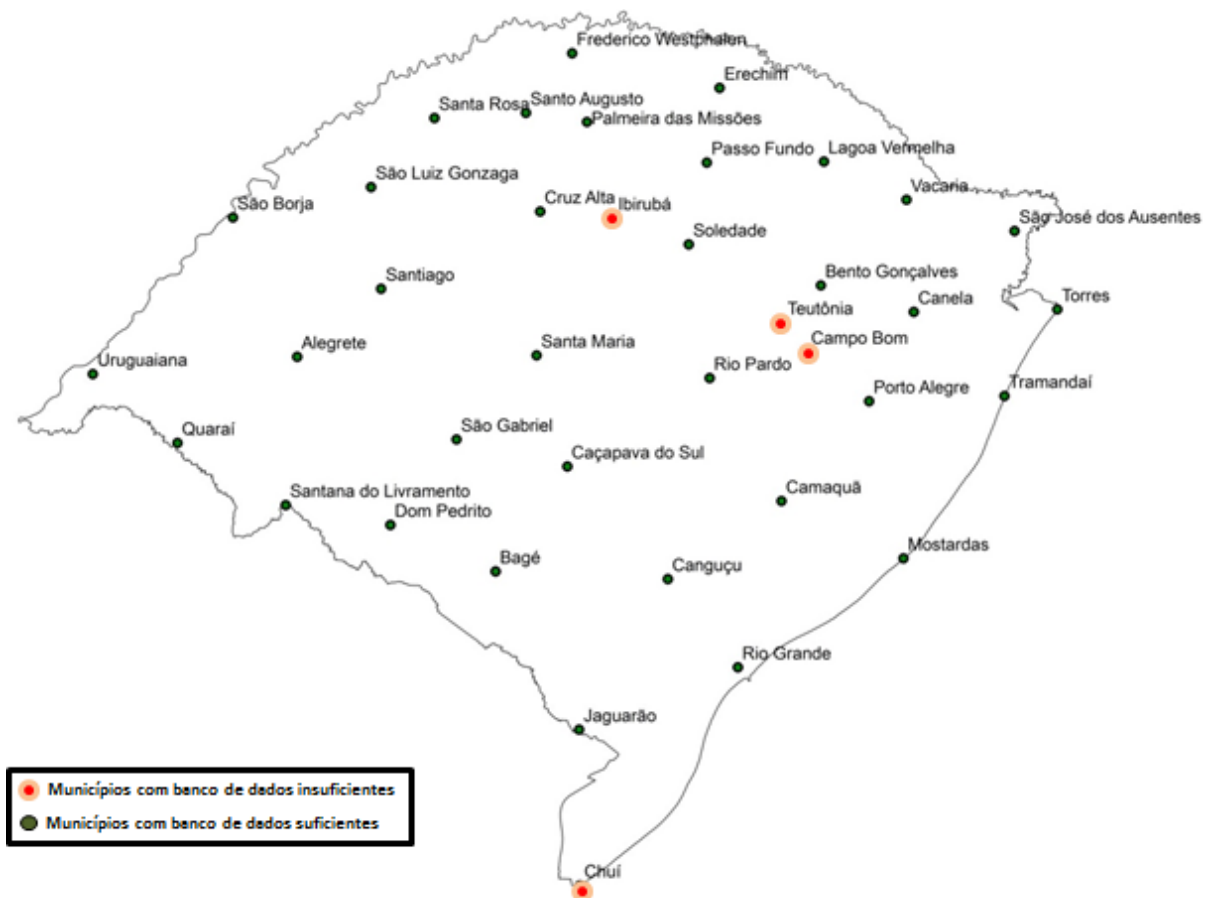
Além das variáveis da medição é importante ressaltar os erros próprios dos equipamentos e do processo de medições. Estes erros possuem diversas origens, entre elas a resposta térmica do sensor, erro na resposta cosseno e offset térmico. Conforme fundamentado por Haag *et al.* (2011) diversos modelos numéricos apontam um erro sistemático de medida da componente global da ordem de 10-25  $W/m^2$  quando efetuada por piranômetros térmicos, mais especificamente o modelo Eppley PSP.

## 5 METODOLOGIA

Os dados utilizados para a construção dos índices de claridade médios diários e mensais foram obtidos através de estações meteorológicas automáticas, utilizando como sensor de medição um piranômetro e disponibilizados pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), sendo, no total, dados para 38 municípios do estado do Rio Grande do Sul, os quais estão ilustrados na Figura 10. Os conjuntos de dados de irradiação solar global horizontal, na unidade de  $\text{kJ/m}^2$ , contam com históricos de medições que, em alguns municípios, chega até 13 anos.

A metodologia utilizada para o desenvolvimento deste trabalho se dividiu em quatro etapas: a qualificação inicial do banco de dados obtidos, o tratamento dos históricos de radiação de cada cidade estudada, os cálculos para obtenção das irradiações e, por fim, os cálculos dos índices de claridade atmosférica para todos os municípios.

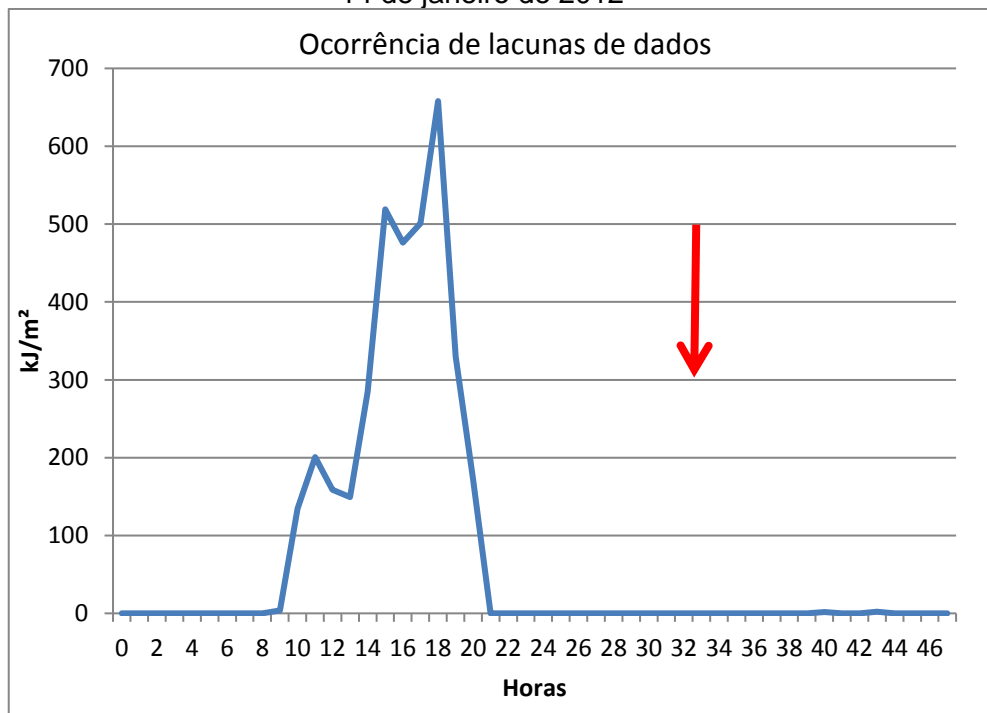
Figura 10 - Distribuição dos municípios com disponibilidade de dados para o estudo.



## 5.1 QUALIFICAÇÕES DE DADOS

Os dados foram disponibilizados através de planilhas de Excel, preenchidas com dados horários para todos os dias de medições, cada hora correspondia a uma linha da planilha. Por motivos que não nos é conhecido, algumas dessas linhas contavam com espaços vazios ou preenchidos com barras, ou seja, nos deparamos com dados faltantes no histórico de medições. O volume encontrado deste tipo de lacuna de dados está demonstrado no Apêndice A e a ocorrência destas lacunas de dados é demonstrada no Gráfico 2, a seguir.

Gráfico 2 - Ocorrência de lacunas de dados no município de Vacaria entre os dias 13 e 14 de janeiro de 2012



Fonte: Autora (2017).

Em uma qualificação inicial, foram descartados municípios e, em alguns casos, períodos específicos de medições seguindo alguns critérios: municípios com até três anos de medições - destacados na Figura 5 – ou que possuíam períodos do histórico de medição com grande parte dos seus dados faltantes - como no caso do ano de 2011 do município de Cruz Alta - foram descartados ou tiveram o seu período faltante excluído. Na construção de padrões temporais para variáveis climatológicas como a radiação solar, quanto maior o histórico de medição, mais eficaz o resultado final, devido à sazonalidade de seu comportamento.

Outro fenômeno atípico encontrado nos valores coletados foi a ocorrência de um alto volume de valores de irradiação negativos – os quais são esperados apenas para medições noturnas. No município de Passo Fundo, por exemplo, pode-se observar esse fenômeno durante o mês de maio no ano de 2012. Esses valores não foram considerados para o cálculo da média de irradiação global, resultando em uma quantidade significativamente menor de dados a serem contabilizados no estudo.

## 5.2 METODOLOGIAS DE TRATAMENTO DE DADOS

Após a qualificação inicial dos históricos de medições iniciou-se a etapa de preenchimento dos dados faltantes. O tratamento destes dados foi realizado utilizando uma metodologia proposta pelo físico Carsten Hoyer-Klick. Segundo Schüller et al (2015), esta metodologia se resumiria em três métodos: método A, B e C.

O método A, da metodologia de preenchimento de dados faltantes utilizada, seria que lacunas de dados por até três horas sejam preenchidas através da interpolação dos dados para os horários mais próximos a elas. O método B descreve que dados faltantes por mais de três horas e por menos de quatro dias sejam preenchidos copiando os valores para o mesmo horário de dias vizinhos. Por fim, o método C é relacionado a lacunas de dados com mais de quatro dias, sendo, neste caso, preenchidas copiando os valores, para à mesma hora e o mesmo dia, de anos vizinhos.

### 5.2.1 ADAPTAÇÕES NO PREENCHIMENTO DE DADOS FALTANTES

Algumas adaptações foram feitas na metodologia proposta para o tratamento de dados faltantes. No método B, ao invés de ter sido apenas copiado os valores para o mesmo horário de dias vizinhos, preferiu-se utilizar as médias dos valores para o mesmo horário no dia posterior e anterior. Como esse método engloba lacunas de até quatro dias, procurou-se preencher com as médias de valores para o mesmo horário de 24, 48, 72 ou 96 horas posteriores e anteriores, se em nenhum destes casos fosse preenchida a lacuna, utilizava-se o método C.

O método C foi adaptado de maneira semelhante ao método B, optando-se por ao invés de copiar os dados, para o mesmo dia e à mesma hora, de anos vizinhos, preencher as lacunas com a média destes valores para o ano anterior e posterior. É de extrema importância ressaltar que, tanto na utilização do método A, como nas adaptações dos métodos B e C, nenhum dado já tratado foi utilizado, todas as interpolações e preenchimentos através de médias foram realizadas com dados originais.

### 5.3 OBTENÇÕES DA IRRADIAÇÃO GLOBAL HORIZONTAL

Para alcançar o objetivo principal deste trabalho, a obtenção dos valores médios mensais e diários para o índice de claridade atmosférica, necessita-se encontrar os valores médios mensais e diários de irradiação global horizontal. Utilizando os dados já tratados e que foram convertidos de kJ/m<sup>2</sup> para kWh/m<sup>2</sup>, fez-se a somatória dos valores de irradiação solar global horizontal horária,  $I$ , de todos os dias de cada mês de medição de cada ano do histórico de dados do município em tratamento e posteriormente realizaram-se os cálculos das médias aritméticas mensais para o mesmo município, através da Equação 2, com  $n$  sendo o total de dias do mês. A irradiação solar global horizontal diária foi obtida apenas através da somatória dos valores de irradiação horária para cada dia do histórico de medição.

$$\bar{H} = \frac{\sum_{n=1}^n I}{n} \quad (2)$$

### 5.4 OBTENÇÕES DA IRRADIAÇÃO EXTRATERRESTRE HORIZONTAL.

A Equação 3, demonstrada a seguir, foi utilizada para chegar nos valores da irradiação extraterrestre diária neste trabalho, e utilizando para a “constante solar”,  $G_{sc}$ , o valor de 1367 W/m<sup>2</sup>, obtemos o valor da irradiação diária,  $H_o$ , em Wh/m<sup>2</sup>.

$$H_o = \frac{24}{\pi} \cdot G_{sc} \cdot \left[ 1 + 0,033 \cdot \cos \left( \frac{360}{365} \cdot n \right) \right] \cdot (\cos \phi \cdot \cos \delta \cdot \text{sen } \omega_s + \frac{\pi \omega_s}{180} \cdot \text{sen } \phi \cdot \text{sen } \delta) \quad (3)$$

Conforme exposto por Duffie e Beckman (2013),  $\omega_s$ , o ângulo por do Sol, é encontrado através da Equação 4, demonstrada a seguir.

$$\omega_s = \cos^{-1}(-\tan \phi \cdot \tan \delta) \quad (4)$$

Onde,  $\phi$  correspondente à latitude, variando de  $-90^\circ \leq \phi \leq 90^\circ$  e  $\delta$  é o ângulo de declinação, posição angular do Sol ao meio-dia solar com relação ao plano do Equador, variando entre  $-23,45^\circ \leq \delta \leq 23,45^\circ$  e, definido pela Equação 5 exposta a seguir, onde  $n$  é o número do dia do ano.

$$\delta = 23,45 \cdot \sin \left( \frac{360}{365} \cdot (n + 284) \right) \quad (5)$$

Para a obtenção dos valores médios mensais da irradiação extraterrestre, foi feita uma média aritmética utilizando os dias do ano respectivos a cada mês, por exemplo, os primeiros 31 dias do ano foram responsáveis pelo valor da média de janeiro, os dias consecutivos ao dia 31 foram utilizados na média de fevereiro, e assim por diante, visto que foram considerados todos os dias do ano para obter valores compatíveis aos dos históricos de medições.

## 5.5 OBTENÇÕES DO ÍNDICE DE CLARIDADE ATMOSFÉRICA ( $K_t$ )

Com a obtenção dos valores médios mensais e diários para as irradiações, global horizontal e extraterrestre, têm-se os dados necessários para a determinação do índice de claridade atmosférica ( $K_t$ ). O  $K_t$  pode ser calculado através da Equação 6.

$$k_t = \frac{I}{I_o} \quad (6)$$

Onde  $I$  é a irradiação solar global horária horizontal, e  $I_o$ , a irradiação solar global extraterrestre horária horizontal. Para obter  $K_t$  em uma escala diária, utiliza-se a Equação 7, onde  $H$  é a irradiação solar global e  $H_o$  é a irradiação solar global extraterrestre, ambas diárias e no plano horizontal.

$$K_t = \frac{H}{H_o} \quad (7)$$



Para a obtenção do  $Kt$  médio mensal para cada cidade estudada utiliza-se a Equação 8 que, diferente das equações para os cálculos de  $Kt$  expostas anteriormente, relaciona os valores médios das irradiações.

$$\bar{K}_t = \frac{\bar{H}}{H_0} \quad (8)$$

Após a obtenção  $Kt$  para todos os dias do histórico de medições de cada município, fez-se uma média aritmética diária mensal utilizando a mesma metodologia da irradiação extraterrestre. Para o mês de janeiro, por exemplo, os valores responsáveis pela média são os 31 primeiros dias de todos os anos do histórico de medições, obtendo assim, um  $Kt$  médio mensal diário para todos os meses do ano e analisando seus máximos e mínimos.

## 6 RESULTADOS

Através da qualificação de dados, dos 38 municípios iniciais, utilizou-se apenas 34 municípios para o desenvolvimento deste trabalho. Para os índices médios mensais da irradiação global horizontal, irradiação extraterrestre horizontal e índice de claridade atmosférica, de cada localidade, obtiveram-se os valores demonstrados nas Tabelas 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 e 11 a seguir, dispostas em ordem alfabética.

Tabela 1 – Análise do índice  $\overline{K}_t$  mensal para os municípios de Alegrete, Bagé e Bento Gonçalves.

MÊS	Alegrete			Bagé			Bento Gonçalves		
	Global (kWh/m <sup>2</sup> )	Extraterrestre (kWh/m <sup>2</sup> )	$\overline{K}_t$	Global (kWh/m <sup>2</sup> )	Extraterrestre (kWh/m <sup>2</sup> )	$\overline{K}_t$	Global (kWh/m <sup>2</sup> )	Extraterrestre (kWh/m <sup>2</sup> )	$\overline{K}_t$
1	7,03	11,93	0,59	7,10	11,96	0,59	6,33	11,92	0,53
2	6,16	11,00	0,56	6,12	10,95	0,56	5,66	11,01	0,51
3	5,56	9,42	0,59	5,49	9,28	0,59	4,86	9,46	0,51
4	4,41	7,52	0,59	4,35	7,31	0,60	4,14	7,59	0,55
5	3,15	5,95	0,53	3,11	5,70	0,55	2,98	6,03	0,49
6	2,58	5,23	0,49	2,57	4,97	0,52	2,44	5,31	0,46
7	2,82	5,59	0,50	2,80	5,33	0,52	2,81	5,67	0,50
8	3,51	6,93	0,51	3,30	6,70	0,49	3,37	7,00	0,48
9	4,48	8,76	0,51	4,24	8,60	0,49	4,09	8,81	0,46
10	5,73	10,50	0,55	5,53	10,43	0,53	4,95	10,52	0,47
11	6,86	11,68	0,59	6,86	11,69	0,59	6,31	11,68	0,54
12	7,33	12,16	0,60	7,52	12,21	0,62	6,63	12,14	0,55

Fonte: Autora (2017).

Tabela 2 - Análise do índice  $\overline{K}_t$  mensal para os municípios de Caçapava do Sul, Camaquã e Canela.

MÊS	Caçapava do sul			Camaquã			Canela		
	Global (kWh/m <sup>2</sup> )	Extraterrestre (kWh/m <sup>2</sup> )	$\overline{K}_t$	Global (kWh/m <sup>2</sup> )	Extraterrestre (kWh/m <sup>2</sup> )	$\overline{K}_t$	Global (kWh/m <sup>2</sup> )	Extraterrestre (kWh/m <sup>2</sup> )	$\overline{K}_t$
1	6,84	11,95	0,57	6,07	11,95	0,51	5,96	11,92	0,50
2	5,99	10,98	0,55	5,26	10,97	0,48	5,30	11,01	0,48
3	5,30	9,35	0,57	4,49	9,33	0,48	4,66	9,45	0,49
4	4,25	7,41	0,57	3,83	7,38	0,52	4,06	7,56	0,54
5	2,97	5,82	0,51	2,79	5,78	0,48	2,88	6,00	0,48
6	2,56	5,10	0,50	2,24	5,06	0,44	2,51	5,28	0,48
7	2,67	5,46	0,49	2,43	5,42	0,45	2,78	5,64	0,49
8	3,37	6,81	0,49	2,84	6,78	0,42	3,22	6,97	0,46
9	4,17	8,68	0,48	3,58	8,66	0,41	4,01	8,80	0,46
10	5,38	10,46	0,51	4,63	10,45	0,44	5,01	10,51	0,48
11	6,46	11,69	0,55	5,98	11,69	0,51	6,02	11,68	0,52
12	7,13	12,18	0,59	6,44	12,19	0,53	6,32	12,14	0,52

Fonte: Autora (2017).

Tabela 3 - Análise do índice  $\overline{K}_t$  mensal para os municípios de Canguçu, Cruz Alta e Dom Pedrito.

MÊS	Canguçu			Cruz Alta			Dom pedrito		
	Global (kWh/m <sup>2</sup> )	Extraterrestre (kWh/m <sup>2</sup> )	$\overline{K}_t$	Global (kWh/m <sup>2</sup> )	Extraterrestre (kWh/m <sup>2</sup> )	$\overline{K}_t$	Global (kWh/m <sup>2</sup> )	Extraterrestre (kWh/m <sup>2</sup> )	$\overline{K}_t$
1	6,23	11,96	0,52	6,84	11,91	0,57	7,20	11,95	0,60
2	5,63	10,95	0,51	5,75	11,03	0,52	6,04	10,96	0,55
3	4,84	9,28	0,52	5,17	9,51	0,54	5,55	9,31	0,60
4	3,98	7,30	0,55	4,53	7,66	0,59	4,27	7,36	0,58
5	2,84	5,69	0,50	3,27	6,11	0,53	3,04	5,75	0,53
6	2,37	4,96	0,48	2,68	5,40	0,50	2,62	5,03	0,52
7	2,60	5,33	0,49	3,05	5,76	0,53	2,88	5,39	0,53
8	2,96	6,70	0,44	3,63	7,07	0,51	3,51	6,75	0,52
9	3,75	8,60	0,44	4,23	8,87	0,48	4,60	8,64	0,53
10	4,87	10,42	0,47	4,93	10,54	0,47	5,80	10,44	0,56
11	6,20	11,69	0,53	6,62	11,67	0,57	7,07	11,69	0,60
12	6,61	12,21	0,54	7,11	12,12	0,59	7,42	12,20	0,61

Fonte: Autora (2017).

Tabela 4 – Análise do índice  $\overline{K}_t$  mensal para os municípios de Erechim, Frederico Westphalen e Jaguarão.

MÊS	Erechim			Frederico Westphalen			Jaguarão		
	Global (kWh/m <sup>2</sup> )	Extraterrestre (kWh/m <sup>2</sup> )	$\overline{K}_t$	Global (kWh/m <sup>2</sup> )	Extraterrestre (kWh/m <sup>2</sup> )	$\overline{K}_t$	Global (kWh/m <sup>2</sup> )	Extraterrestre (kWh/m <sup>2</sup> )	$\overline{K}_t$
1	6,47	11,89	0,54	6,59	11,88	0,55	6,82	11,97	0,57
2	5,91	11,05	0,54	5,71	11,05	0,52	5,71	10,91	0,52
3	5,22	9,58	0,55	5,17	9,60	0,54	4,99	9,17	0,54
4	4,35	7,78	0,56	4,33	7,81	0,55	3,82	7,15	0,53
5	3,19	6,25	0,51	3,12	6,29	0,50	2,68	5,51	0,49
6	2,78	5,55	0,50	2,61	5,59	0,47	2,24	4,78	0,47
7	3,13	5,90	0,53	2,96	5,94	0,50	2,40	5,15	0,47
8	3,71	7,20	0,51	3,63	7,23	0,50	2,85	6,54	0,44
9	4,42	8,95	0,49	4,26	8,98	0,47	3,86	8,48	0,46
10	4,99	10,58	0,47	5,21	10,59	0,49	5,08	10,37	0,49
11	6,50	11,66	0,56	6,38	11,65	0,55	6,38	11,70	0,55
12	6,77	12,08	0,56	6,82	12,07	0,56	6,94	12,24	0,57

Fonte: Autora (2017).

Tabela 5 – Análise do índice  $\overline{K}_t$  mensal para os municípios de Lagoa Vermelha, Mostardas e Palmeira das Missões.

MÊS	Lagoa vermelha			Mostardas			Palmeira das Missões		
	Global (kWh/m <sup>2</sup> )	Extraterrestre (kWh/m <sup>2</sup> )	$\overline{K}_t$	Global (kWh/m <sup>2</sup> )	Extraterrestre (kWh/m <sup>2</sup> )	$\overline{K}_t$	Global (kWh/m <sup>2</sup> )	Extraterrestre (kWh/m <sup>2</sup> )	$\overline{K}_t$
1	6,43	11,90	0,54	7,15	11,96	0,60	6,52	11,89	0,55
2	5,82	11,04	0,53	6,16	10,96	0,56	5,91	11,04	0,54
3	5,12	9,54	0,54	5,36	9,29	0,58	5,23	9,56	0,55
4	4,25	7,71	0,55	4,13	7,32	0,56	4,46	7,74	0,58
5	3,06	6,17	0,50	3,10	5,71	0,54	3,29	6,22	0,53
6	2,63	5,46	0,48	2,64	4,99	0,53	2,74	5,51	0,50
7	2,99	5,82	0,51	2,70	5,35	0,50	3,06	5,86	0,52
8	3,51	7,13	0,49	3,32	6,72	0,49	3,65	7,16	0,51
9	4,25	8,90	0,48	4,16	8,61	0,48	4,13	8,93	0,46
10	4,89	10,56	0,46	5,54	10,43	0,53	4,82	10,57	0,46
11	6,42	11,66	0,55	6,77	11,69	0,58	6,34	11,66	0,54
12	6,75	12,10	0,56	7,37	12,20	0,60	6,19	12,09	0,51

Fonte: Autora (2017).

Tabela 6 - Análise do índice  $\overline{K}_t$  mensal para os municípios de Passo Fundo, Porto Alegre e Quaraí.

MÊS	Passo Fundo			Porto Alegre			Quaraí		
	Global (kWh/m <sup>2</sup> )	Extraterrestre (kWh/m <sup>2</sup> )	$\overline{K}_t$	Global (kWh/m <sup>2</sup> )	Extraterrestre (kWh/m <sup>2</sup> )	$\overline{K}_t$	Global (kWh/m <sup>2</sup> )	Extraterrestre (kWh/m <sup>2</sup> )	$\overline{K}_t$
1	6,42	11,90	0,54	6,23	11,94	0,52	7,04	11,94	0,59
2	5,88	11,03	0,53	5,64	10,99	0,51	6,08	10,98	0,55
3	4,99	9,54	0,52	4,77	9,39	0,51	5,54	9,36	0,59
4	4,33	7,71	0,56	3,64	7,48	0,49	4,33	7,44	0,58
5	2,58	6,17	0,42	2,60	5,90	0,44	2,98	5,85	0,51
6	2,57	5,46	0,47	2,16	5,18	0,42	2,53	5,13	0,49
7	2,97	5,81	0,51	2,37	5,54	0,43	2,82	5,49	0,51
8	3,44	7,12	0,48	2,94	6,88	0,43	3,52	6,84	0,52
9	4,14	8,90	0,47	3,76	8,73	0,43	4,43	8,70	0,51
10	4,94	10,56	0,47	4,79	10,48	0,46	5,75	10,47	0,55
11	6,29	11,66	0,54	5,71	11,68	0,49	6,68	11,69	0,57
12	6,85	12,10	0,57	6,14	12,17	0,50	7,30	12,18	0,60

Fonte: Autora (2017).

Tabela 7 - Análise do índice  $\overline{K}_t$  mensal para os municípios de Rio Grande, Rio Pardo e Santa Maria.

MÊS	Rio Grande			Rio Pardo			Santa Maria		
	Global (kWh/m <sup>2</sup> )	Extraterrestre (kWh/m <sup>2</sup> )	$\overline{K}_t$	Global (kWh/m <sup>2</sup> )	Extraterrestre (kWh/m <sup>2</sup> )	$\overline{K}_t$	Global (kWh/m <sup>2</sup> )	Extraterrestre (kWh/m <sup>2</sup> )	$\overline{K}_t$
1	6,57	11,97	0,55	6,50	11,93	0,54	6,42	11,93	0,54
2	5,52	10,93	0,51	5,81	11,00	0,53	5,59	11,00	0,51
3	4,95	9,22	0,54	4,93	9,40	0,52	4,87	9,42	0,52
4	3,87	7,21	0,54	3,99	7,50	0,53	3,99	7,52	0,53
5	2,77	5,59	0,50	2,94	5,92	0,50	2,90	5,95	0,49
6	2,31	4,85	0,48	2,33	5,20	0,45	2,32	5,23	0,44
7	2,40	5,22	0,46	2,53	5,56	0,45	2,59	5,59	0,46
8	3,03	6,60	0,46	3,05	6,90	0,44	3,03	6,93	0,44
9	3,95	8,53	0,46	3,87	8,75	0,44	3,88	8,76	0,44
10	5,11	10,39	0,49	4,85	10,49	0,46	4,88	10,50	0,47
11	6,38	11,70	0,55	6,19	11,68	0,53	6,12	11,68	0,52
12	6,90	12,23	0,56	6,84	12,16	0,56	6,86	12,16	0,56

Fonte: Autora (2017).

Tabela 8 - Análise do índice  $\overline{K}_t$  mensal para os municípios de Santa Rosa, Santana do Livramento e Santiago.

MÊS	Santa Rosa			Santana do Livramento			Santiago		
	Global (kWh/m <sup>2</sup> )	Extraterrestre (kWh/m <sup>2</sup> )	$\overline{K}_t$	Global (kWh/m <sup>2</sup> )	Extraterrestre (kWh/m <sup>2</sup> )	$\overline{K}_t$	Global (kWh/m <sup>2</sup> )	Extraterrestre (kWh/m <sup>2</sup> )	$\overline{K}_t$
1	6,79	11,89	0,57	6,89	11,95	0,58	6,90	11,92	0,58
2	5,89	11,04	0,53	5,87	10,97	0,54	5,95	11,01	0,54
3	5,32	9,56	0,56	5,11	9,32	0,55	5,05	9,46	0,53
4	4,43	7,75	0,57	3,91	7,38	0,53	4,51	7,59	0,59
5	3,11	6,22	0,50	2,82	5,78	0,49	3,28	6,03	0,54
6	2,58	5,51	0,47	2,27	5,05	0,45	2,79	5,31	0,53
7	2,88	5,87	0,49	2,75	5,41	0,51	2,94	5,67	0,52
8	3,61	7,17	0,50	3,27	6,77	0,48	3,58	7,00	0,51
9	4,34	8,93	0,49	4,14	8,65	0,48	4,45	8,81	0,51
10	5,64	10,57	0,53	5,47	10,45	0,52	5,40	10,52	0,51
11	6,48	11,66	0,56	6,47	11,69	0,55	6,70	11,68	0,57
12	6,85	12,09	0,57	6,63	12,19	0,54	7,20	12,14	0,59

Fonte: Autora (2017).

Tabela 9 – Análise do índice  $\overline{K}_t$  mensal para os municípios de Santo Augusto, São Borja e São Gabriel.

MÊS	Santo Augusto			São Borja			São Gabriel		
	Global (kWh/m <sup>2</sup> )	Extraterrestre (kWh/m <sup>2</sup> )	$\overline{K}_t$	Global (kWh/m <sup>2</sup> )	Extraterrestre (kWh/m <sup>2</sup> )	$\overline{K}_t$	Global (kWh/m <sup>2</sup> )	Extraterrestre (kWh/m <sup>2</sup> )	$\overline{K}_t$
1	6,57	11,89	0,55	7,04	11,91	0,59	6,99	11,94	0,58
2	5,93	11,04	0,54	6,04	11,03	0,55	6,05	10,98	0,55
3	5,00	9,56	0,52	5,51	9,50	0,58	5,36	9,37	0,57
4	4,19	7,75	0,54	4,48	7,65	0,59	4,27	7,44	0,57
5	3,25	6,23	0,52	3,33	6,11	0,55	2,97	5,85	0,51
6	2,53	5,52	0,46	2,70	5,40	0,50	2,47	5,13	0,48
7	2,87	5,87	0,49	3,00	5,75	0,52	2,59	5,49	0,47
8	3,46	7,17	0,48	3,73	7,07	0,53	3,29	6,84	0,48
9	4,14	8,94	0,46	4,64	8,86	0,52	4,21	8,70	0,48
10	4,81	10,57	0,46	5,64	10,54	0,54	5,52	10,47	0,53
11	6,20	11,66	0,53	6,74	11,67	0,58	6,62	11,69	0,57
12	6,25	12,09	0,52	7,18	12,12	0,59	7,31	12,18	0,60

Fonte: Autora (2017).

Tabela 10– Análise do índice  $\overline{K}_t$  mensal para os municípios de São José dos Ausentes, São Luiz Gonzaga e Soledade.

MÊS	São José dos Ausentes			São Luiz Gonzaga			Soledade		
	Global (kWh/m <sup>2</sup> )	Extraterrestre (kWh/m <sup>2</sup> )	$\overline{K}_t$	Global (kWh/m <sup>2</sup> )	Extraterrestre (kWh/m <sup>2</sup> )	$\overline{K}_t$	Global (kWh/m <sup>2</sup> )	Extraterrestre (kWh/m <sup>2</sup> )	$\overline{K}_t$
1	5,86	11,91	0,49	7,01	11,90	0,59	6,45	11,91	0,54
2	5,37	11,02	0,49	6,05	11,03	0,55	5,76	11,02	0,52
3	4,88	9,50	0,51	5,68	9,52	0,60	5,12	9,49	0,54
4	4,21	7,64	0,55	4,62	7,68	0,60	4,22	7,63	0,55
5	3,13	6,09	0,51	3,32	6,14	0,54	2,96	6,08	0,49
6	2,73	5,38	0,51	2,82	5,43	0,52	2,61	5,36	0,49
7	3,13	5,73	0,55	3,11	5,79	0,54	2,85	5,72	0,50
8	3,61	7,05	0,51	3,72	7,10	0,52	3,47	7,04	0,49
9	4,25	8,85	0,48	4,55	8,88	0,51	4,27	8,84	0,48
10	5,02	10,54	0,48	5,57	10,55	0,53	5,46	10,53	0,52
11	6,16	11,67	0,53	6,81	11,67	0,58	6,95	11,67	0,60
12	6,28	12,12	0,52	7,20	12,11	0,59	6,95	12,13	0,57

Fonte: Autora (2017).

Tabela 11 – Análise do índice  $\overline{K}_t$  mensal para os municípios de Torres, Tramandaí, Uruguaiana e Vacaria.

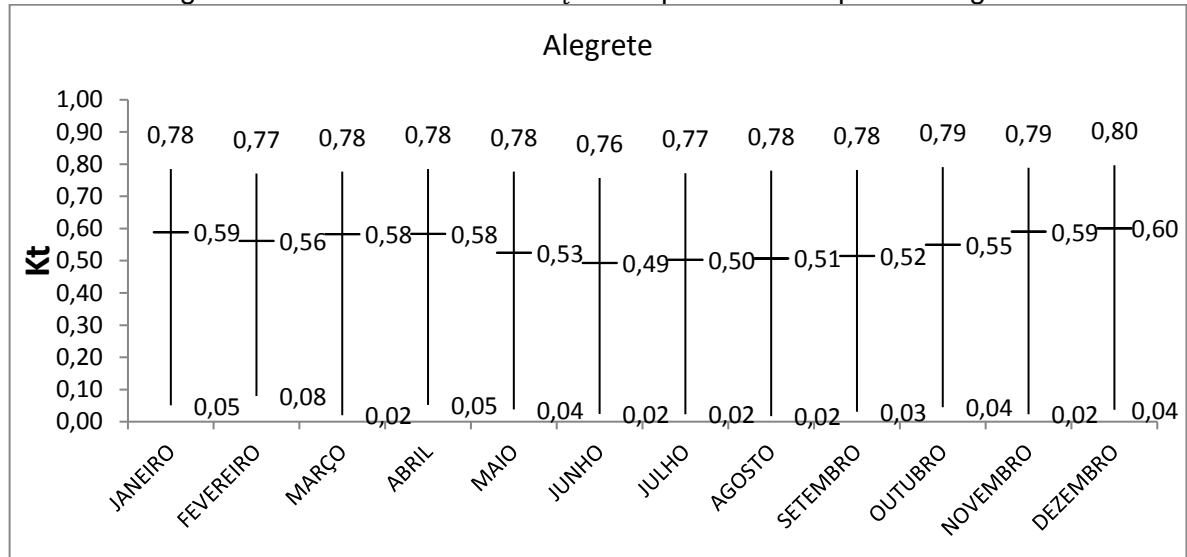
MÊS	Torres			Tramandaí			Uruguaiana			Vacaria		
	Global (kWh/m <sup>2</sup> )	Extraterrestre (kWh/m <sup>2</sup> )	$\overline{K}_t$	Global (kWh/m <sup>2</sup> )	Extraterrestre (kWh/m <sup>2</sup> )	$\overline{K}_t$	Global (kWh/m <sup>2</sup> )	Extraterrestre (kWh/m <sup>2</sup> )	$\overline{K}_t$	Global (kWh/m <sup>2</sup> )	Extraterrestre (kWh/m <sup>2</sup> )	$\overline{K}_t$
1	6,22	11,92	0,52	6,65	11,94	0,56	7,19	11,93	0,60	6,03	11,91	0,51
2	5,57	11,01	0,51	5,89	10,99	0,54	6,27	11,00	0,57	5,57	11,03	0,50
3	4,75	9,45	0,50	5,07	9,39	0,54	5,57	9,41	0,59	4,91	9,51	0,52
4	4,14	7,57	0,55	4,08	7,48	0,55	4,46	7,50	0,59	3,54	7,67	0,46
5	3,15	6,00	0,52	3,01	5,90	0,51	3,19	5,93	0,54	3,07	6,13	0,50
6	2,53	5,29	0,48	2,41	5,18	0,46	2,49	5,21	0,48	2,60	5,42	0,48
7	2,78	5,64	0,49	2,58	5,54	0,47	3,00	5,57	0,54	2,97	5,77	0,51
8	3,31	6,98	0,47	3,21	6,89	0,47	3,59	6,91	0,52	3,54	7,09	0,50
9	4,05	8,80	0,46	3,84	8,73	0,44	4,16	8,75	0,48	4,03	8,88	0,45
10	4,98	10,51	0,47	5,29	10,49	0,50	5,60	10,49	0,53	5,06	10,55	0,48
11	6,12	11,68	0,52	6,38	11,68	0,55	6,90	11,68	0,59	5,96	11,67	0,51
12	6,47	12,14	0,53	6,84	12,17	0,56	7,20	12,16	0,59	6,30	12,11	0,52

Fonte: Autora (2017).

Através da análise das médias mensais, observou-se que, 29 dos 34 municípios estudados apresentaram uma variação mensal do índice de claridade atmosférica maior que 10% e menor que 20%, apenas 3 municípios obtiveram uma variação mensal menor que 10% e os municípios de Cruz Alta e Passo Fundo apresentaram as maiores variações mensais encontradas, sendo, 21% e 26%, respectivamente.

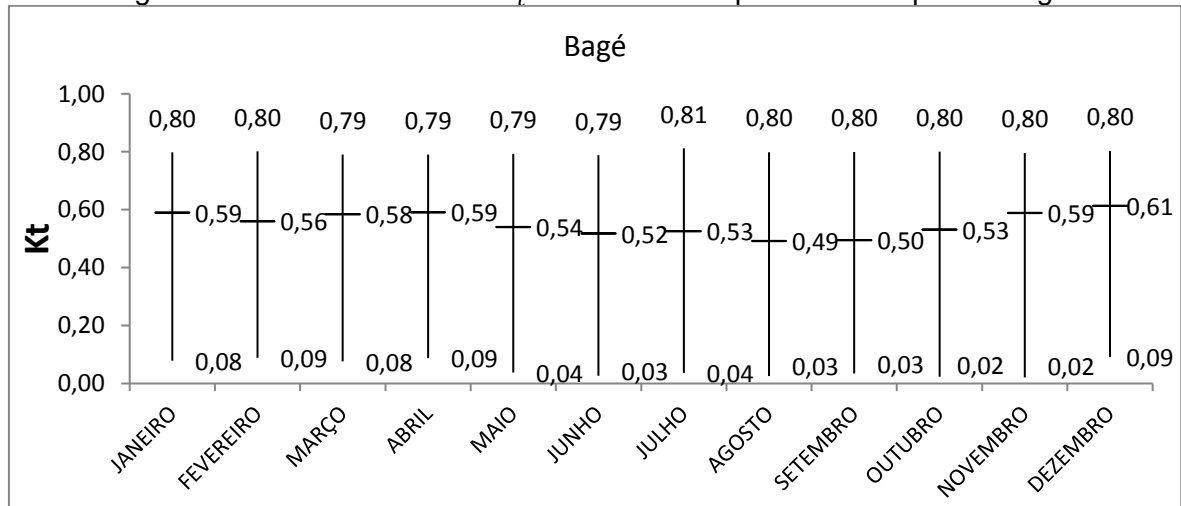
Os resultados construídos para os índices médios diários de claridade atmosférica para cada município estão demonstrados a partir da Figura 11 até a Figura 44, dispostas em ordem alfabética. Onde, além da média mensal, foi diagnosticado suas ocorrências máximas e mínimas em cada gráfico.

Figura 11 – Análise do índice  $K_t$  diário para o município de Alegrete.



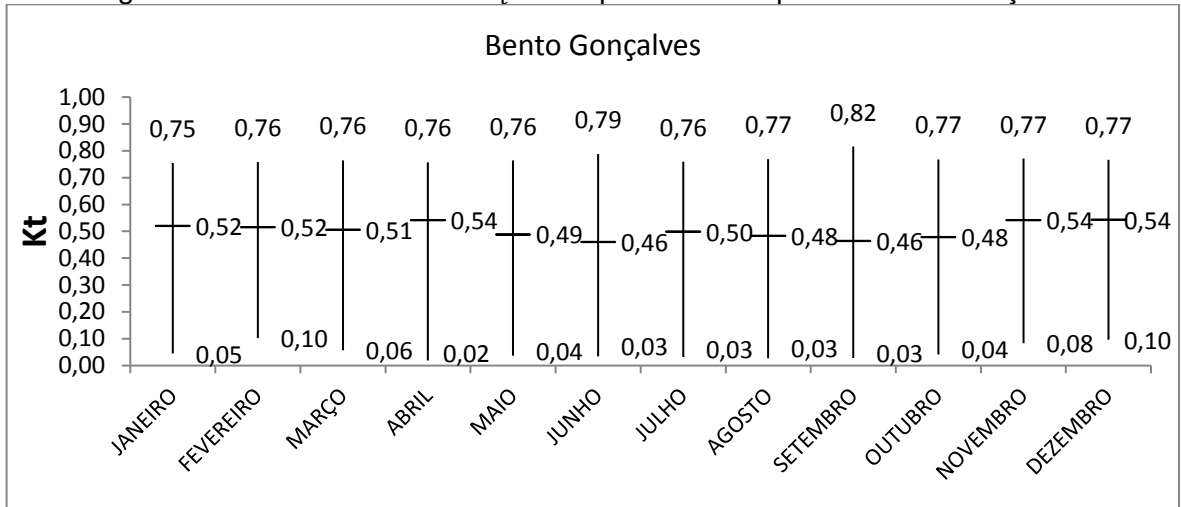
Fonte: Autora (2017).

Figura 12 – Análise do índice  $K_t$  diário mínimos para o município de Bagé.



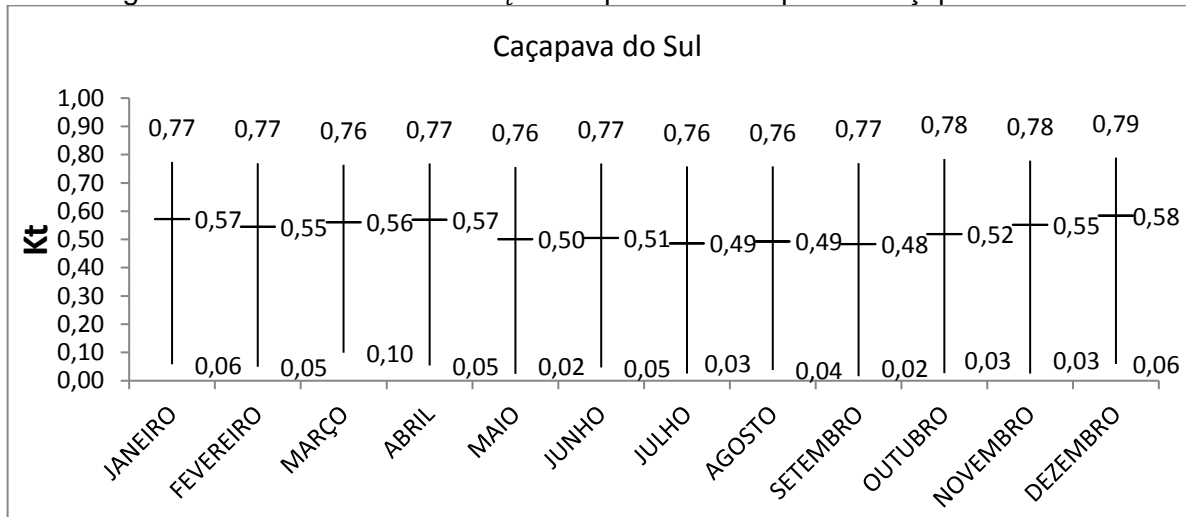
Fonte: Autora (2017).

Figura 13 – Análise do índice  $K_t$  diário para o município de Bento Gonçalves.



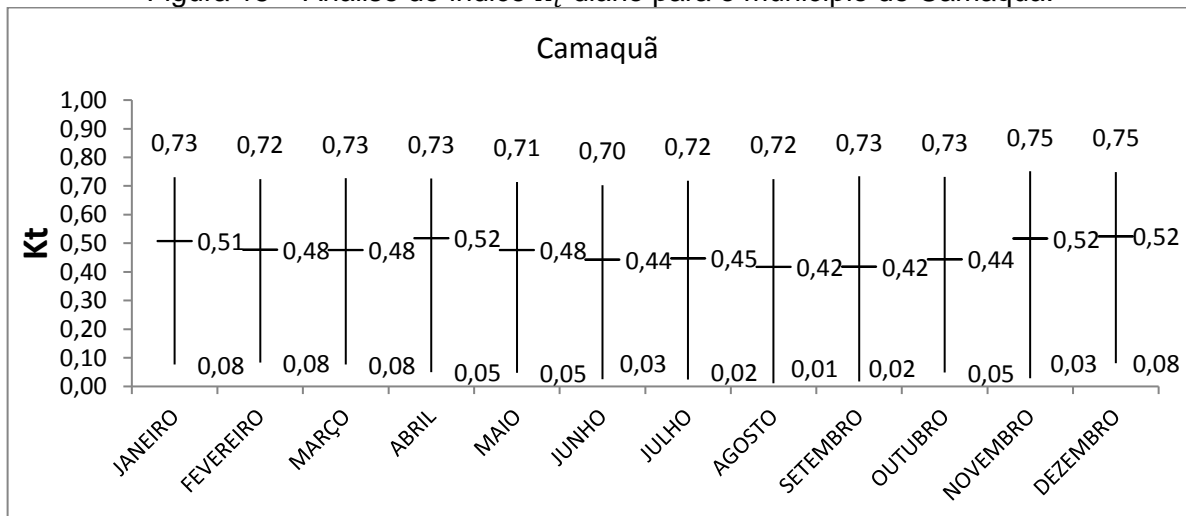
Fonte: Autora (2017).

Figura 14 – Análise do índice  $K_t$  diário para o município de Caçapava do Sul.



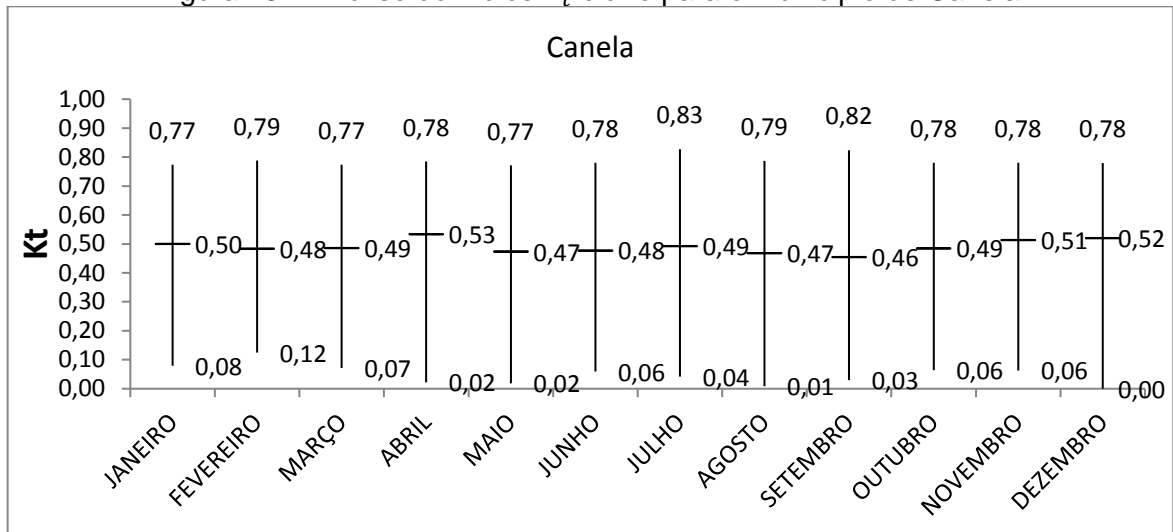
Fonte: Autora (2017).

Figura 15 – Análise do índice  $K_t$  diário para o município de Camaquã.



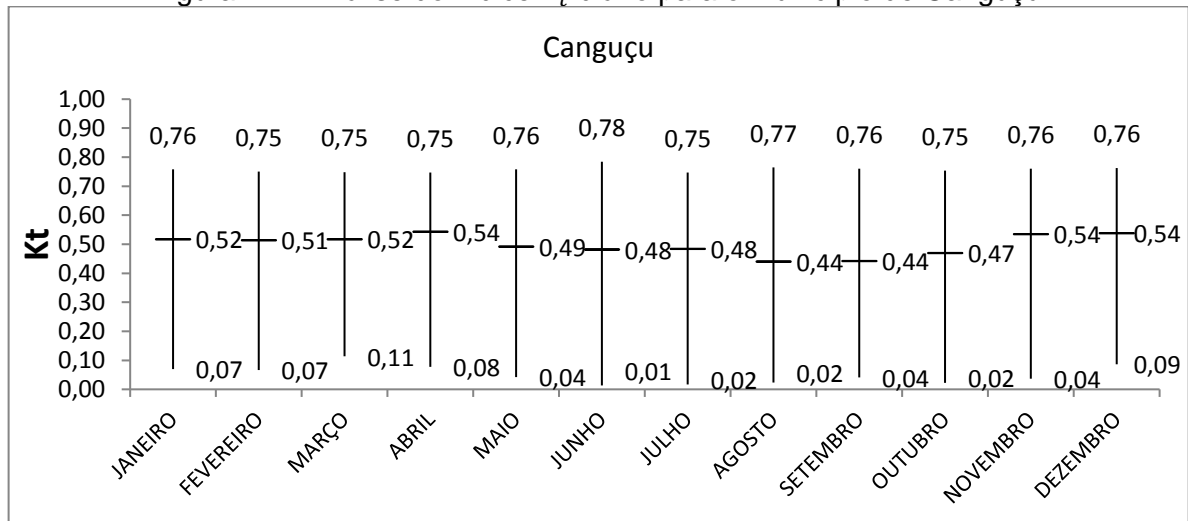
Fonte: Autora (2017).

Figura 16 – Análise do índice  $K_t$  diário para o município de Canela.



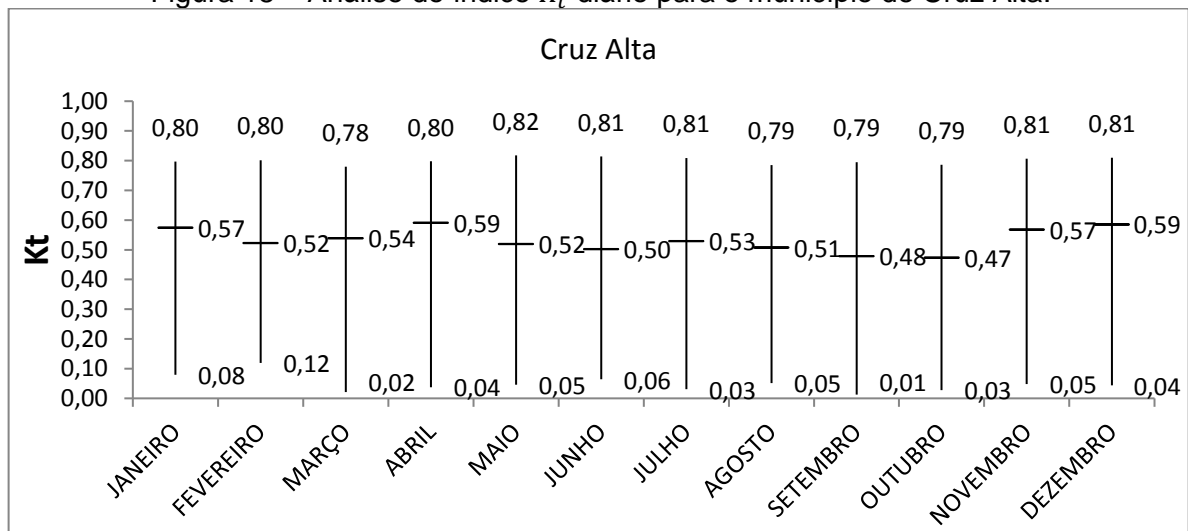
Fonte: Autora (2017).

Figura 17 – Análise do índice  $K_t$  diário para o município de Canguçu.



Fonte: Autora (2017).

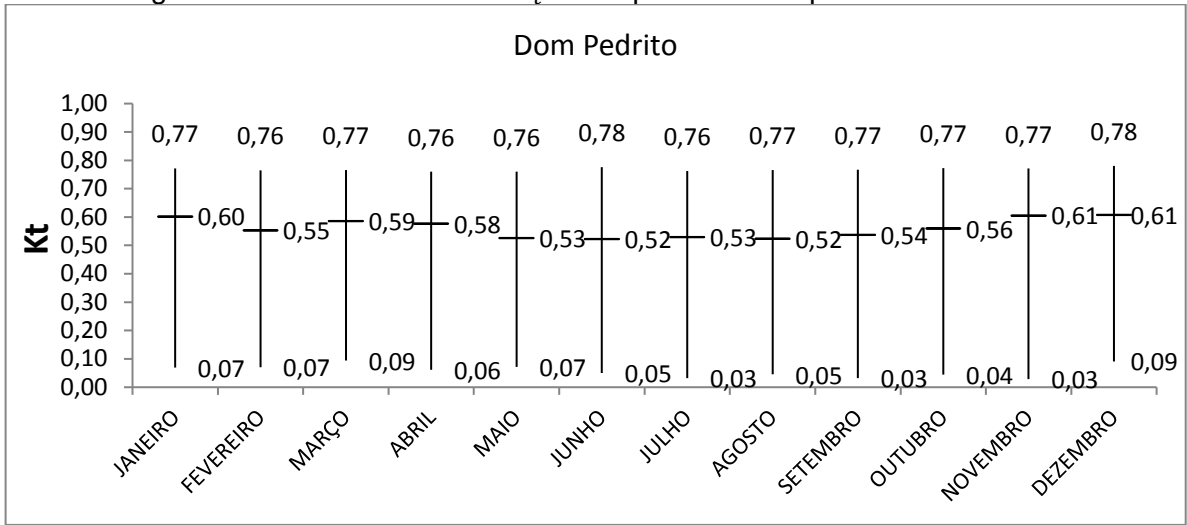
Figura 18 – Análise do índice  $K_t$  diário para o município de Cruz Alta.



Fonte: Autora (2017).

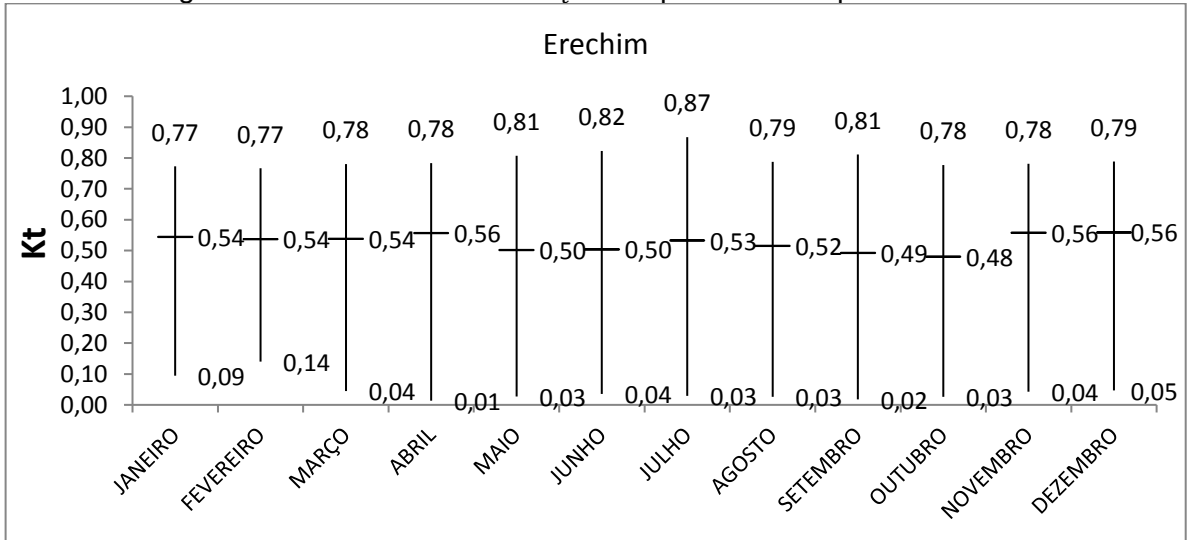


Figura 19 – Análise do índice  $K_t$  diário para o município de Dom Pedrito.



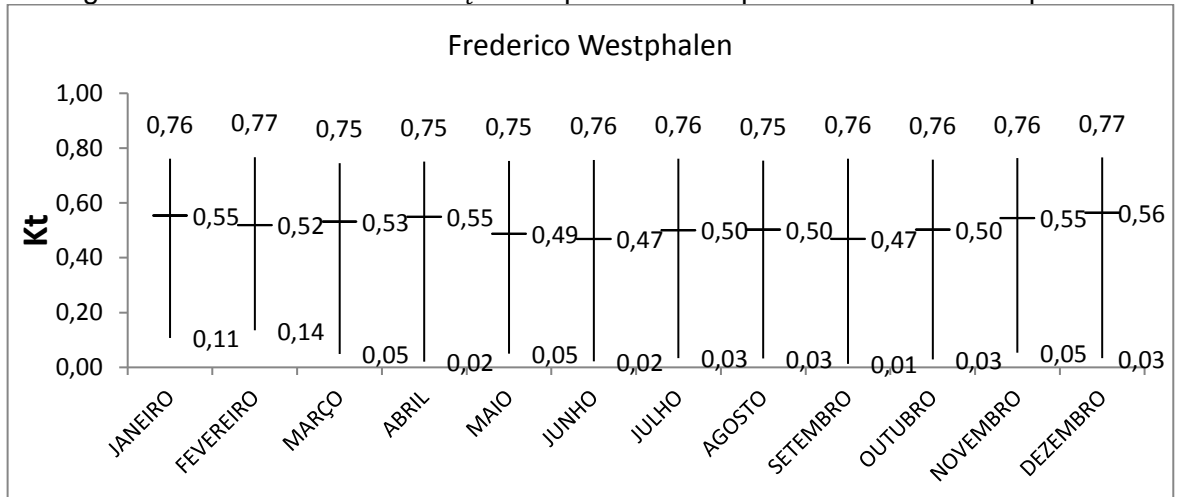
Fonte: Autora (2017).

Figura 20 – Análise do índice  $K_t$  diário para o município de Erechim.

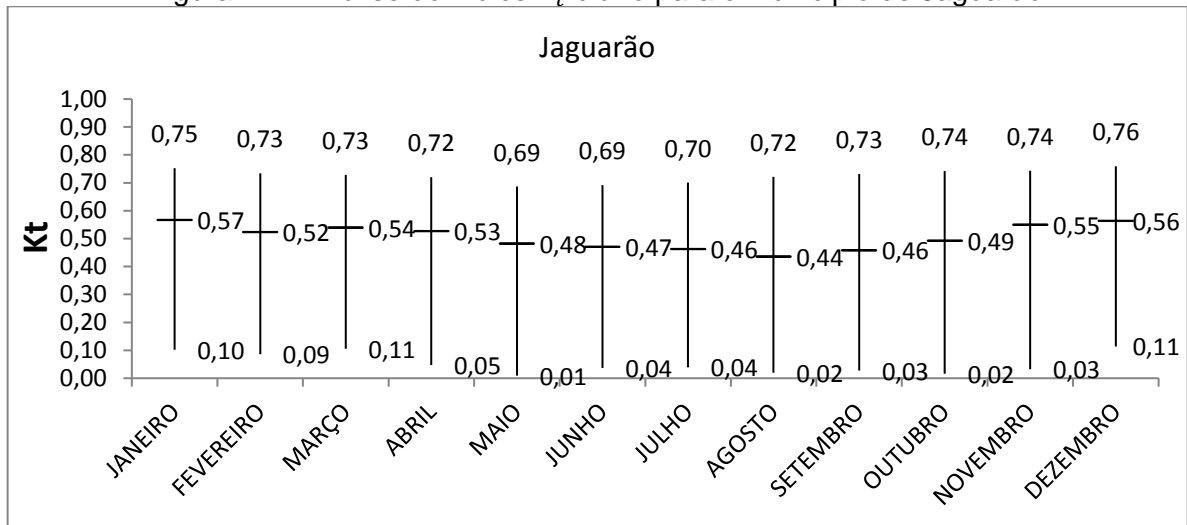


Fonte: Autora (2017).

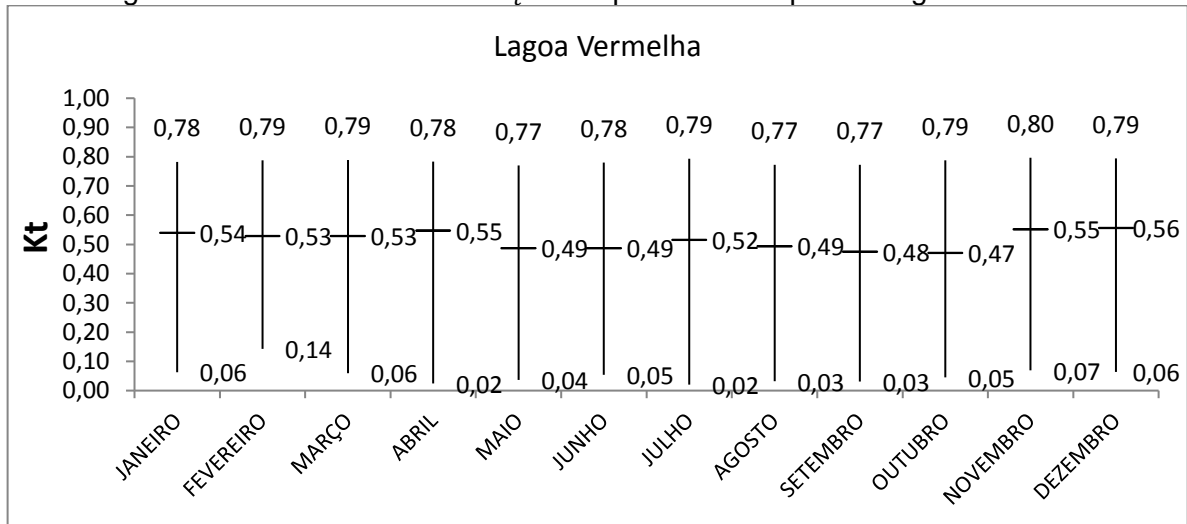
Figura 21 – Análise do índice  $K_t$  diário para o município de Frederico Westphalen.



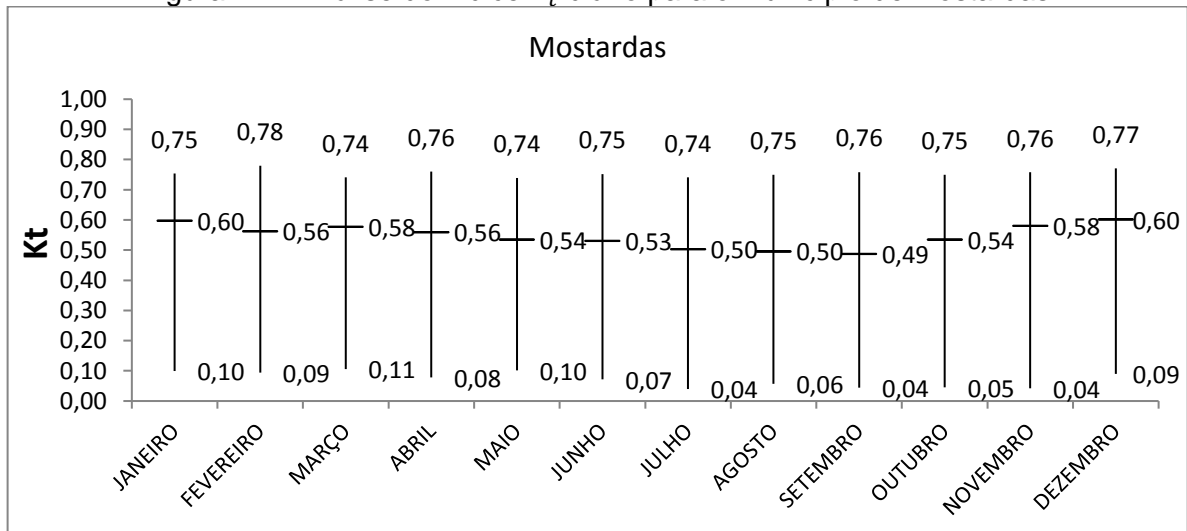
Fonte: Autora (2017).

Figura 22 – Análise do índice  $K_t$  diário para o município de Jaguarão.

Fonte: Autora (2017).

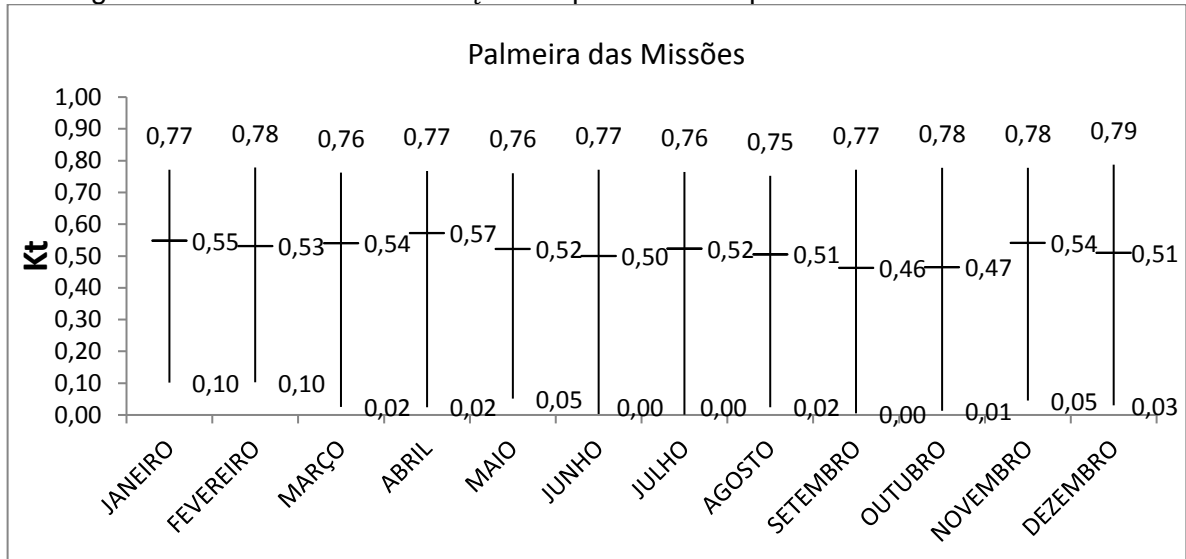
Figura 23 – Análise do índice  $K_t$  diário para o município de Lagoa Vermelha.

Fonte: Autora (2017).

Figura 24 – Análise do índice  $K_t$  diário para o município de Mostardas.

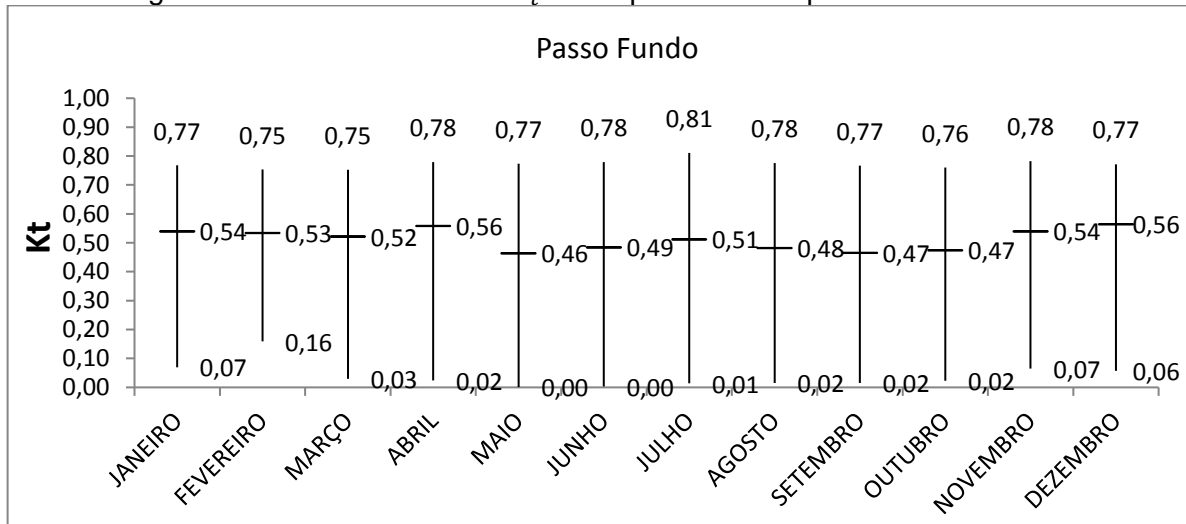
Fonte: Autora (2017).

Figura 25 – Análise do índice  $K_t$  diário para o município de Palmeira das Missões.



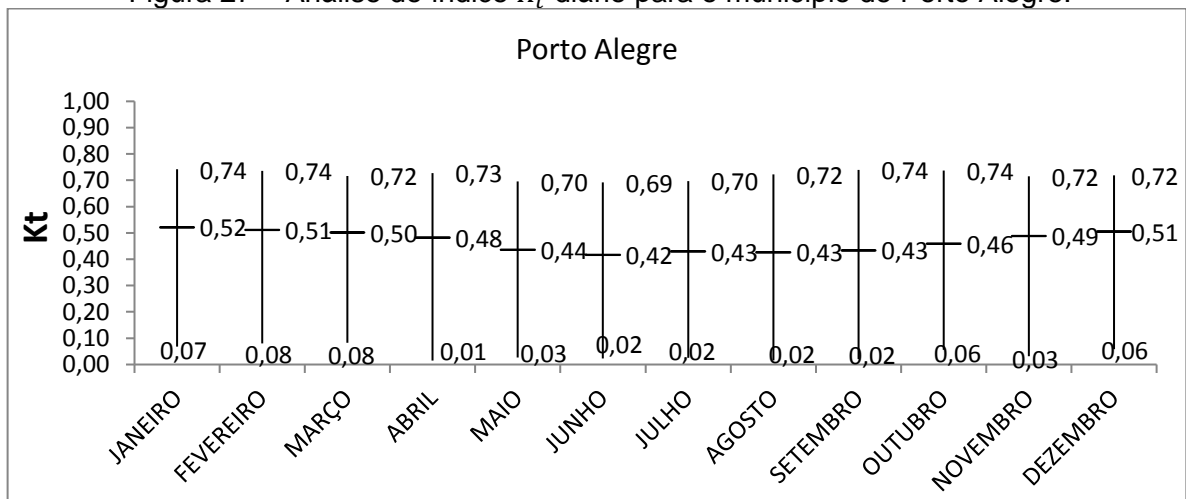
Fonte: Autora (2017).

Figura 26 – Análise do índice  $K_t$  diário para o município de Passo Fundo.



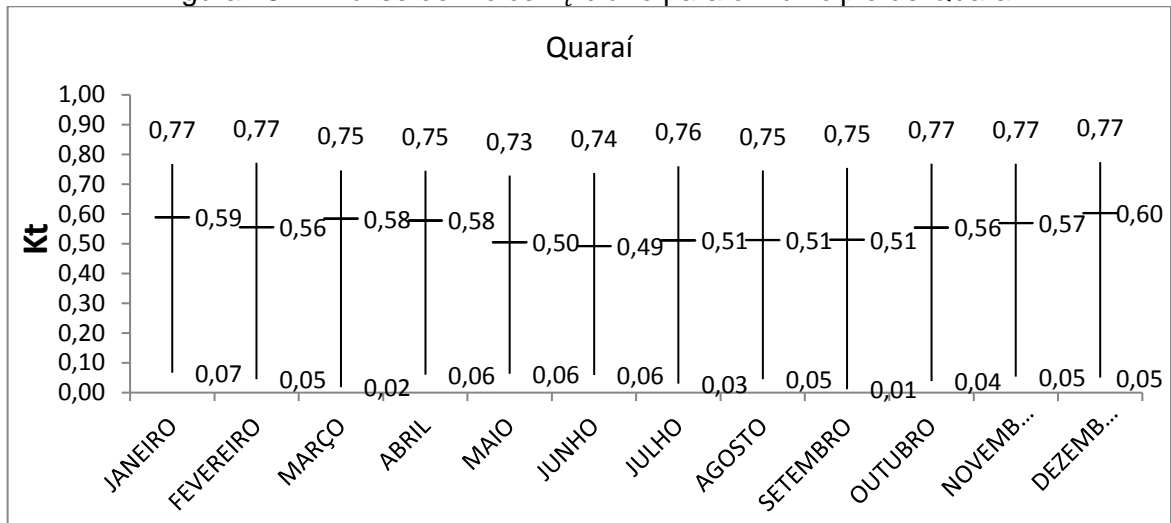
Fonte: Autora (2017).

Figura 27 – Análise do índice  $K_t$  diário para o município de Porto Alegre.



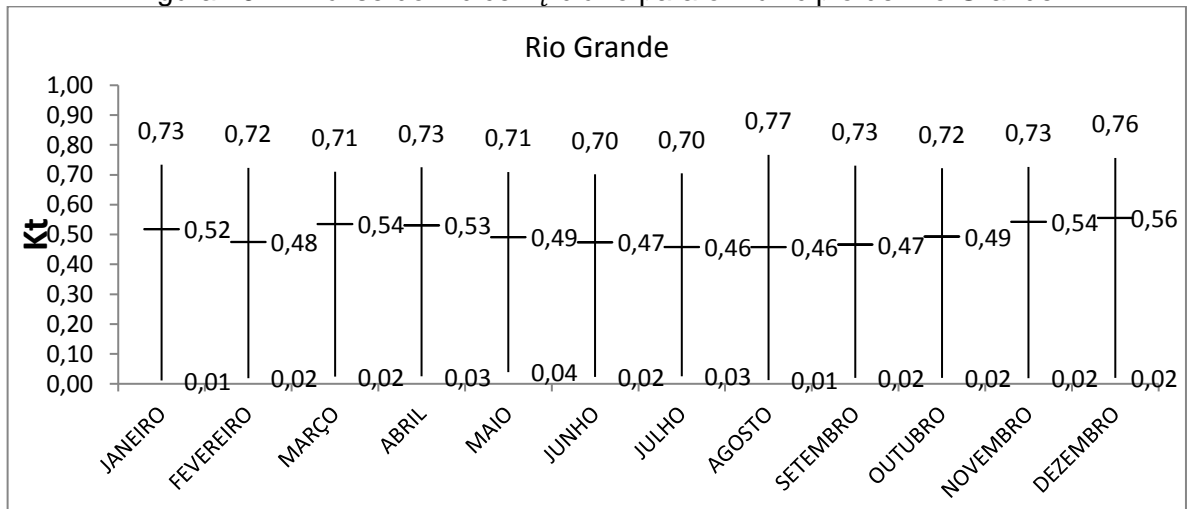
Fonte: Autora (2017).

Figura 28 – Análise do índice  $K_t$  diário para o município de Quaraí.



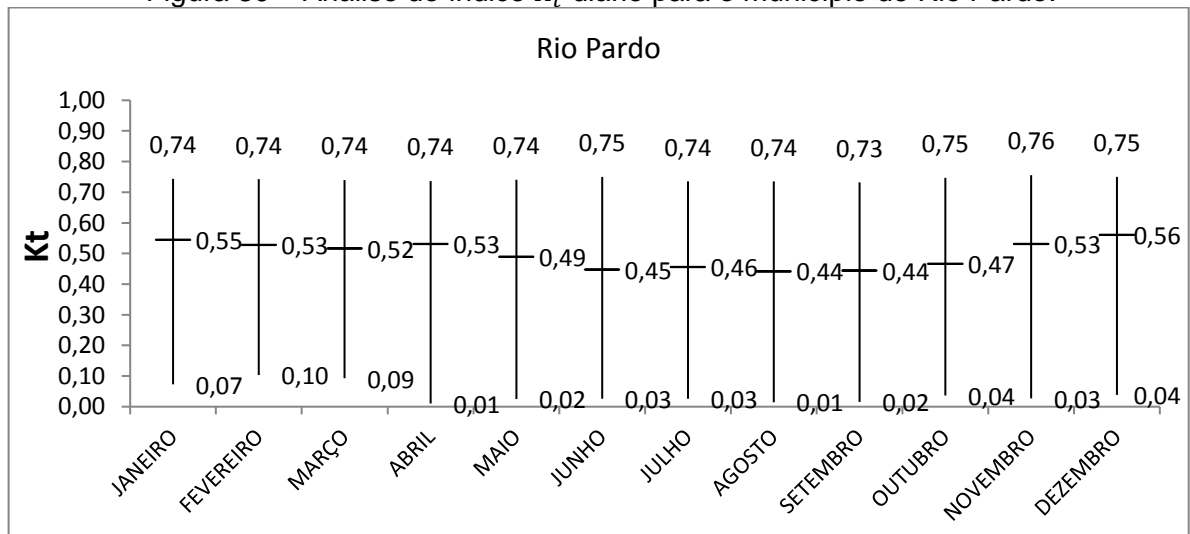
Fonte: Autora (2017).

Figura 29 – Análise do índice  $K_t$  diário para o município de Rio Grande.



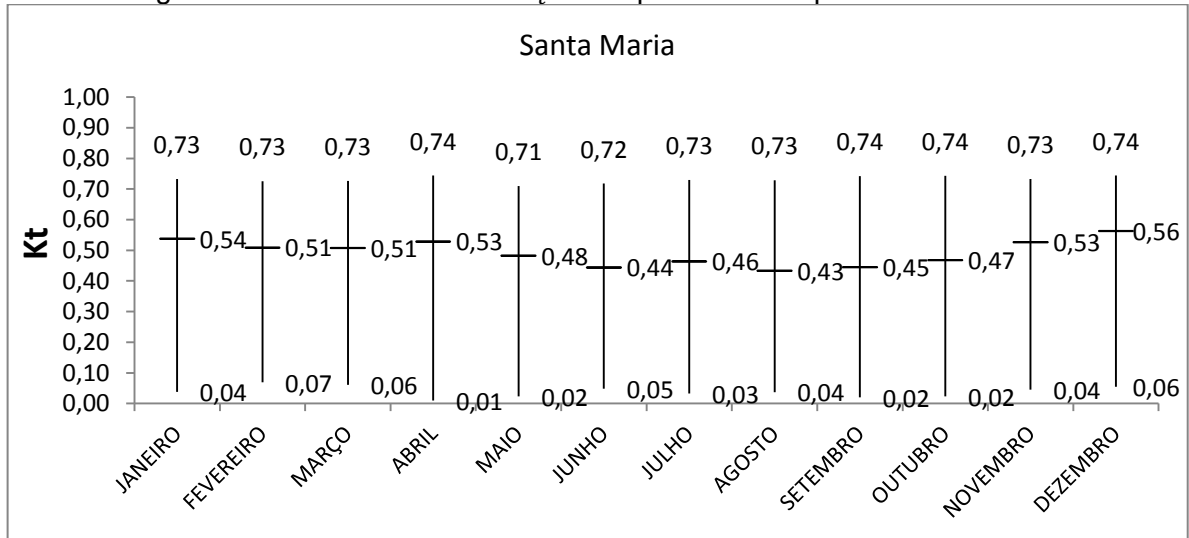
Fonte: Autora (2017).

Figura 30 – Análise do índice  $K_t$  diário para o município de Rio Pardo.



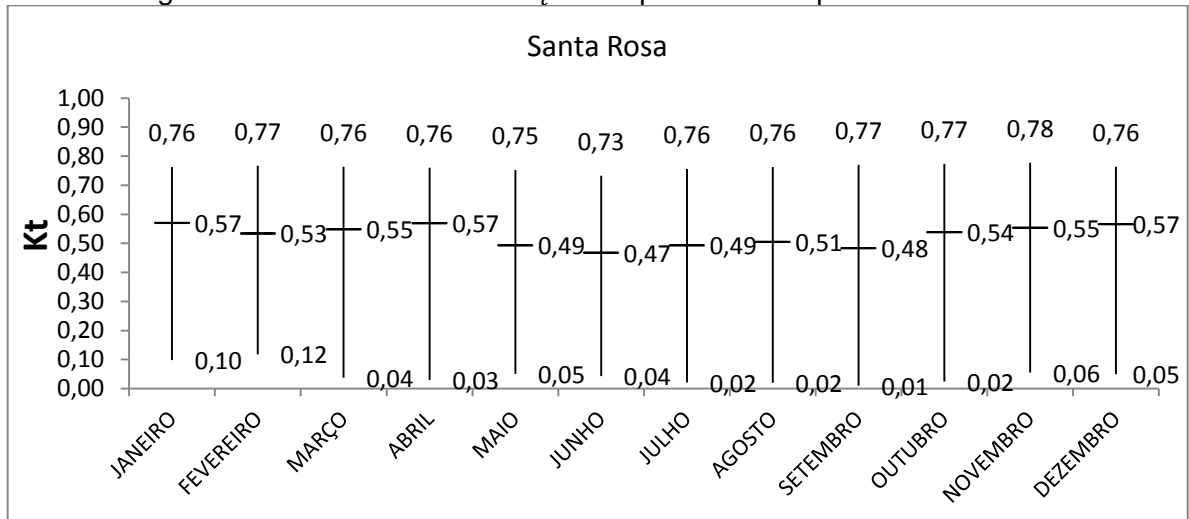
Fonte: Autora (2017).

Figura 31 – Análise do índice  $K_t$  diário para o município de Santa Maria.



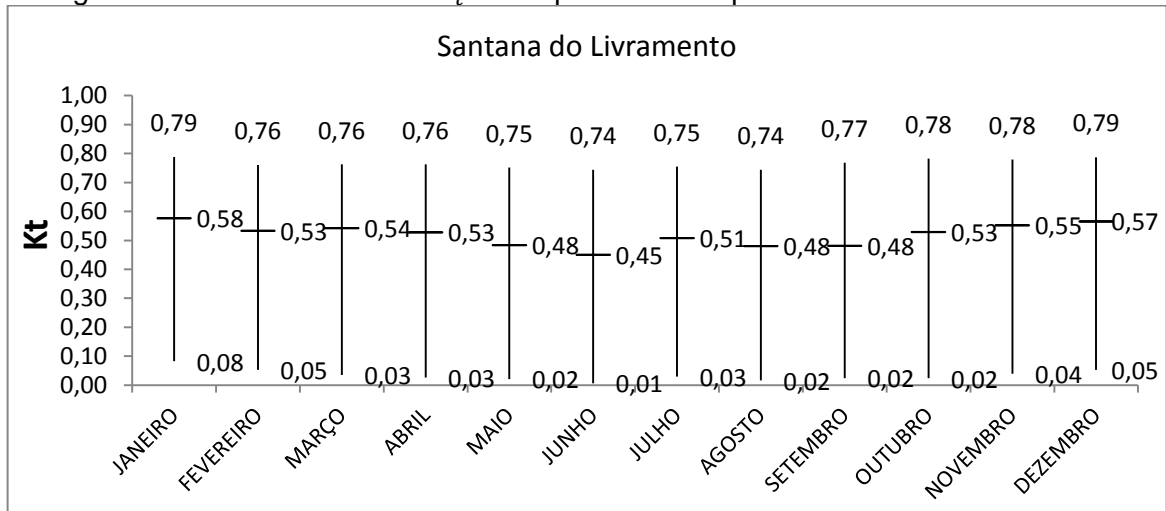
Fonte: Autora (2017).

Figura 32 – Análise do índice  $K_t$  diário para o município de Santa Rosa.



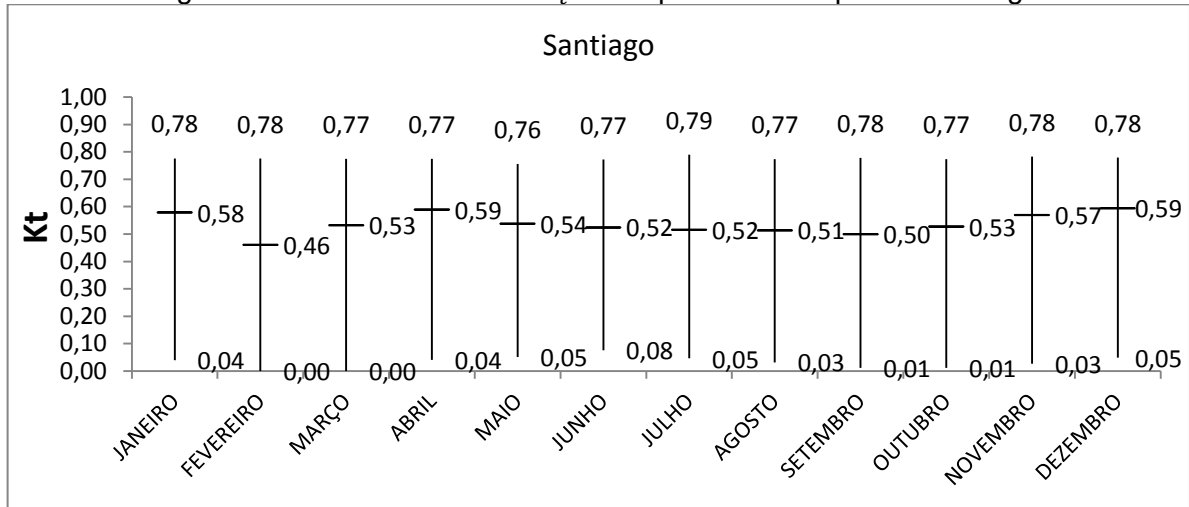
Fonte: Autora (2017).

Figura 33 – Análise do índice  $K_t$  diário para o município de Santana do Livramento.



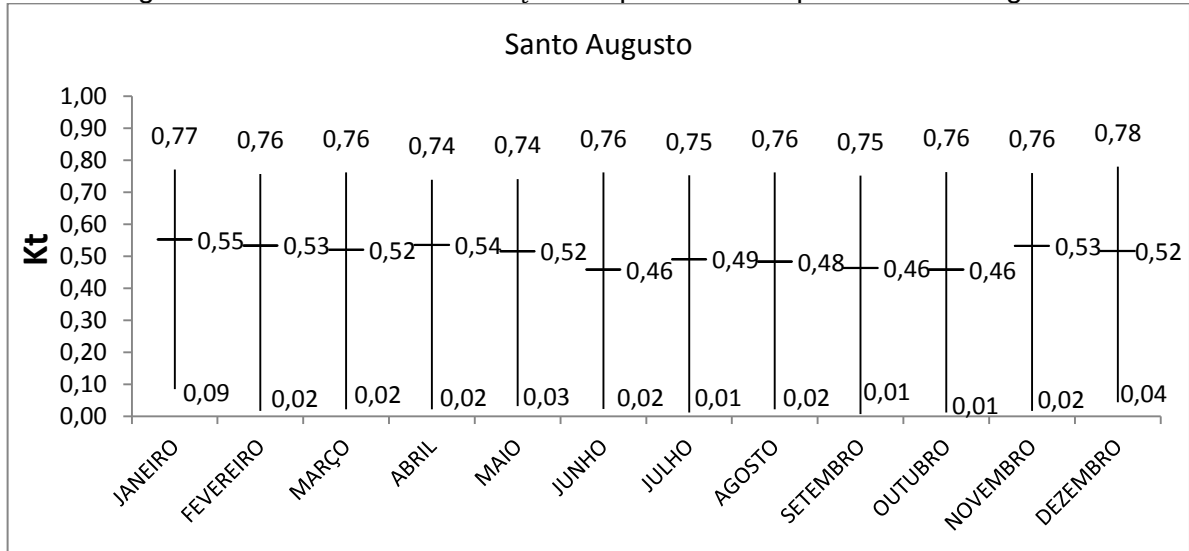
Fonte: Autora (2017).

Figura 34 – Análise do índice  $K_t$  diário para o município de Santiago.



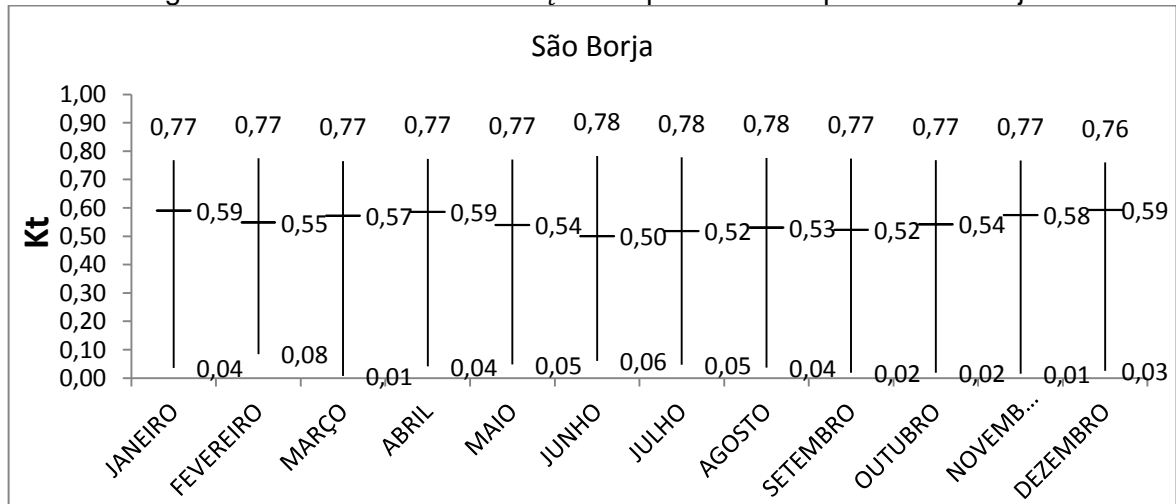
Fonte: Autora (2017).

Figura 35 – Análise do índice  $K_t$  diário para o município de Santo Augusto.



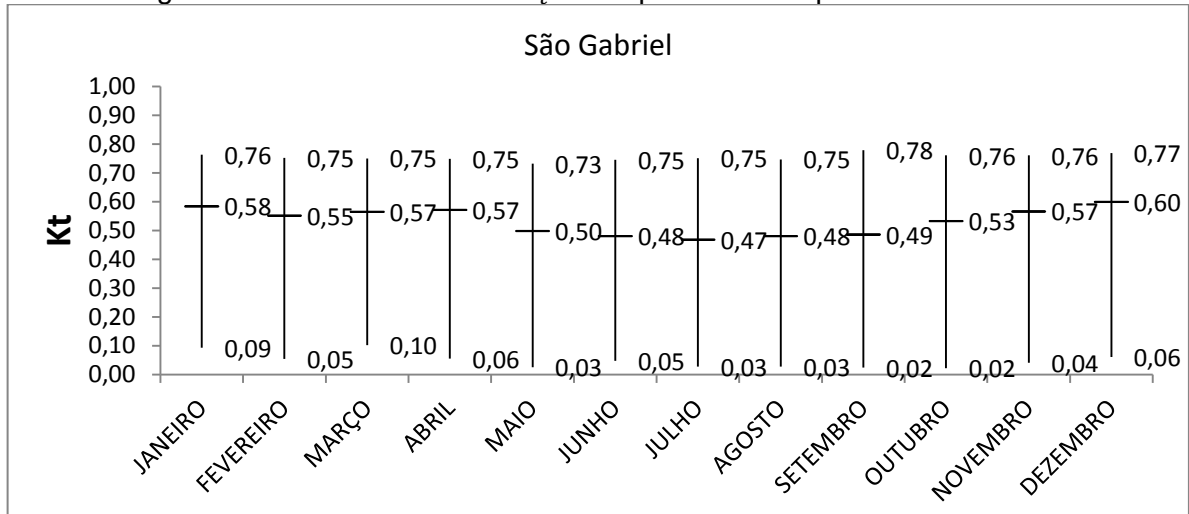
Fonte: Autora (2017).

Figura 36 – Análise do índice  $K_t$  diário para o município de São Borja.



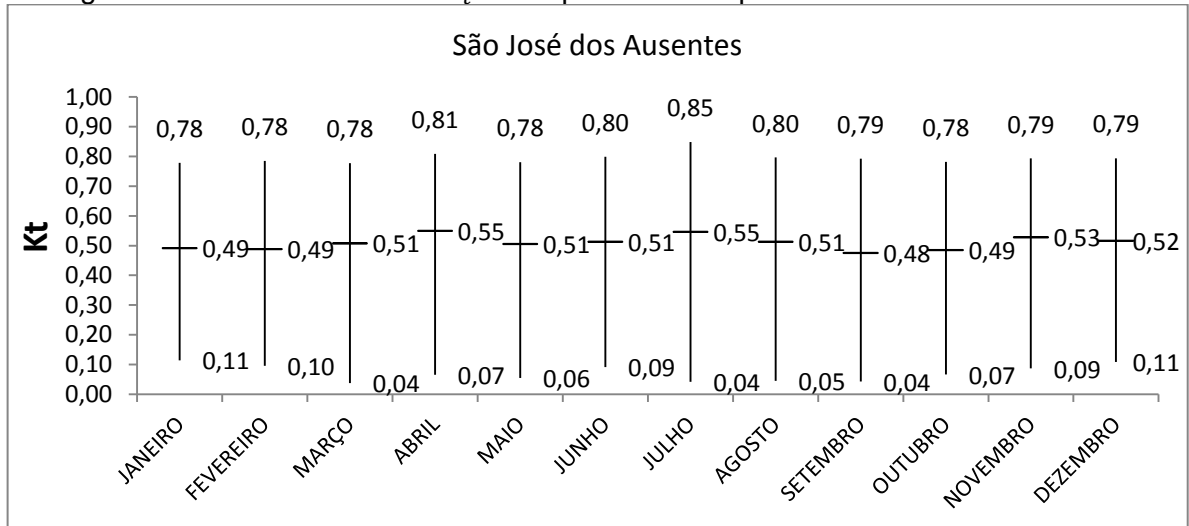
Fonte: Autora (2017).

Figura 37 – Análise do índice  $K_t$  diário para o município de São Gabriel.



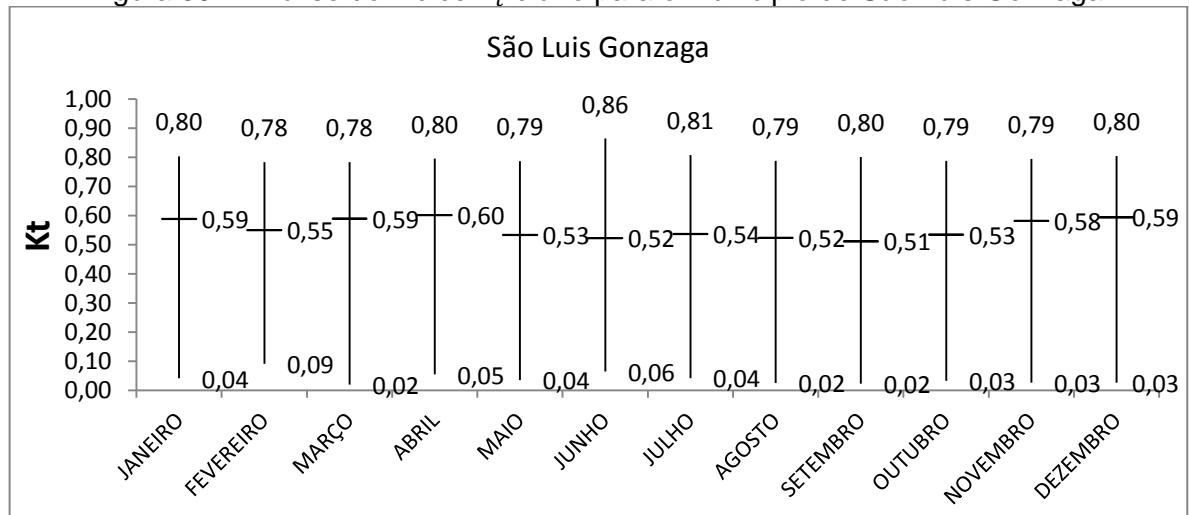
Fonte: Autora (2017).

Figura 38 – Análise do índice  $K_t$  diário para o município de São José dos Ausentes.

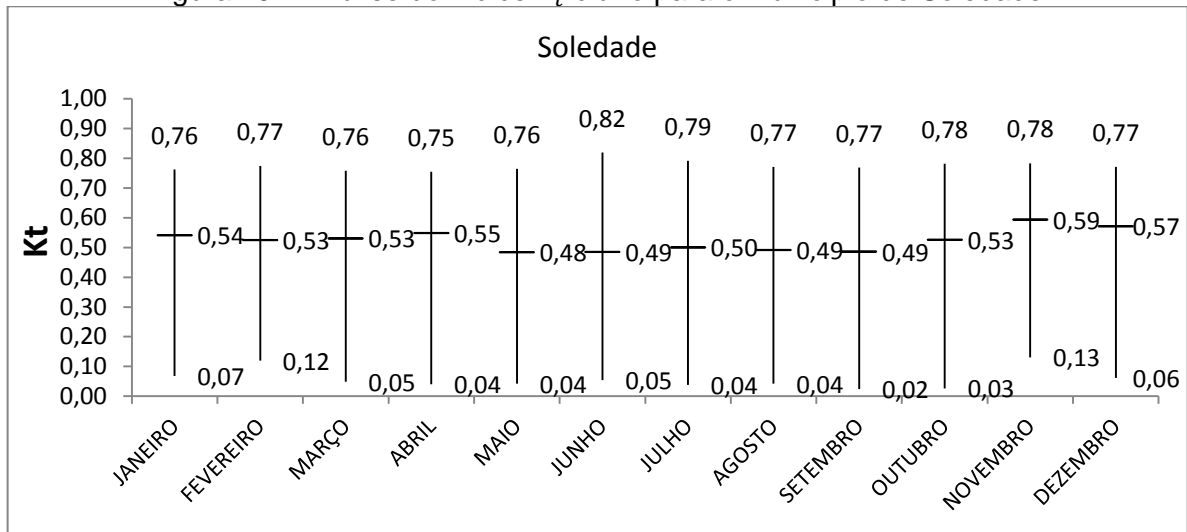


Fonte: Autora (2017).

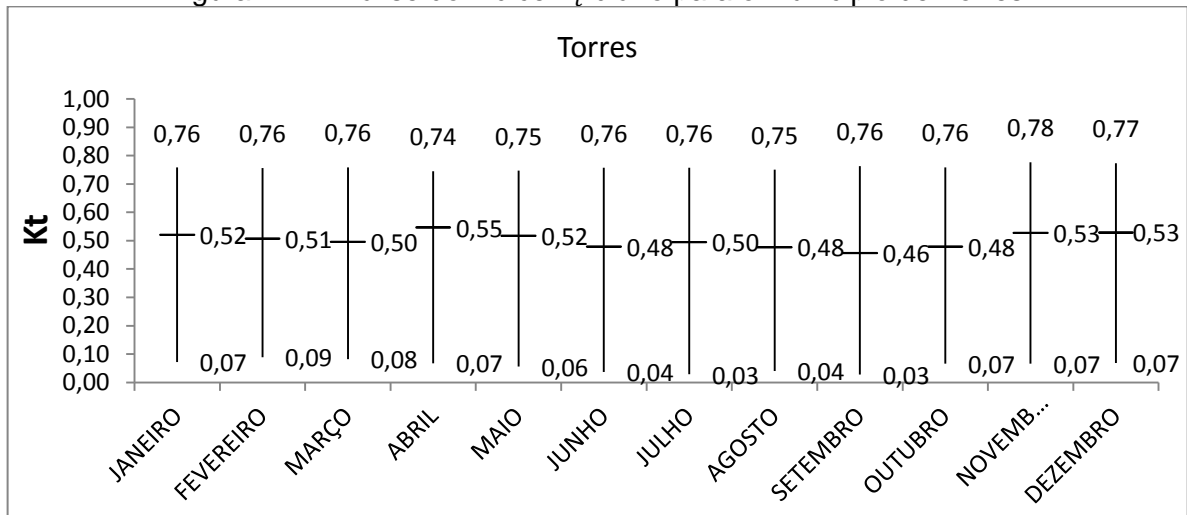
Figura 39 – Análise do índice  $K_t$  diário para o município de São Luís Gonzaga.



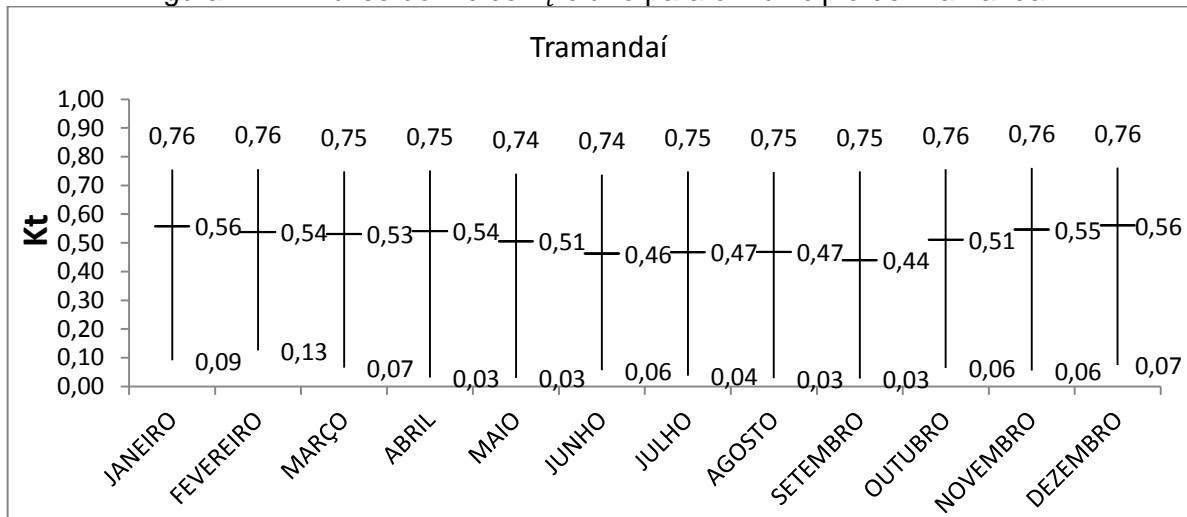
Fonte: Autora (2017).

Figura 40 – Análise do índice  $K_t$  diário para o município de Soledade.

Fonte: Autora (2017).

Figura 41 – Análise do índice  $K_t$  diário para o município de Torres.

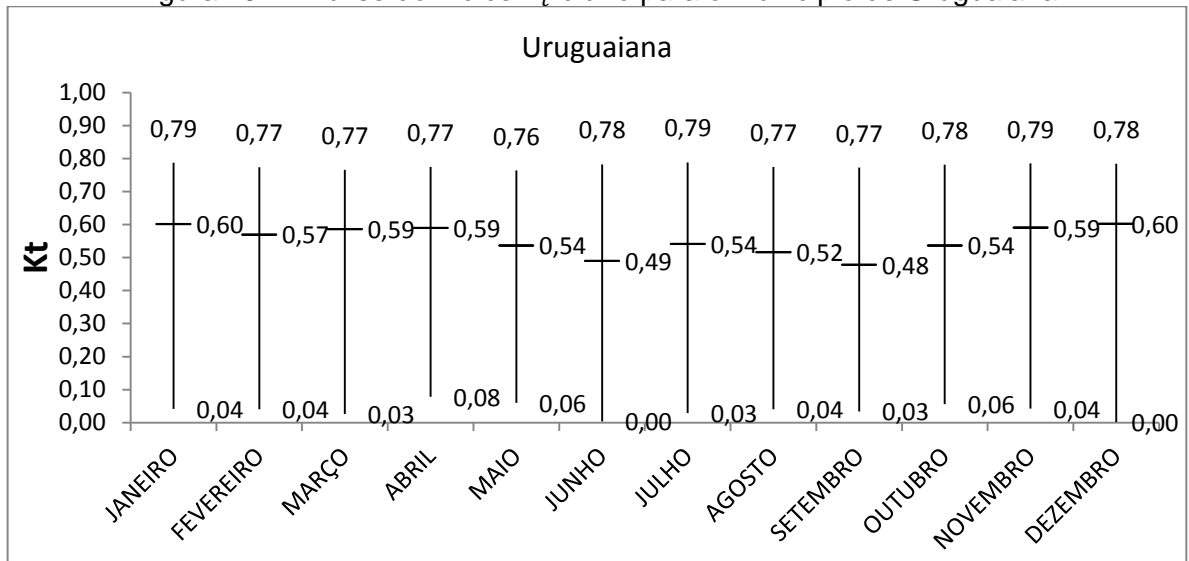
Fonte: Autora (2017).

Figura 42 – Análise do índice  $K_t$  diário para o município de Tramandaí.

Fonte: Autora (2017).

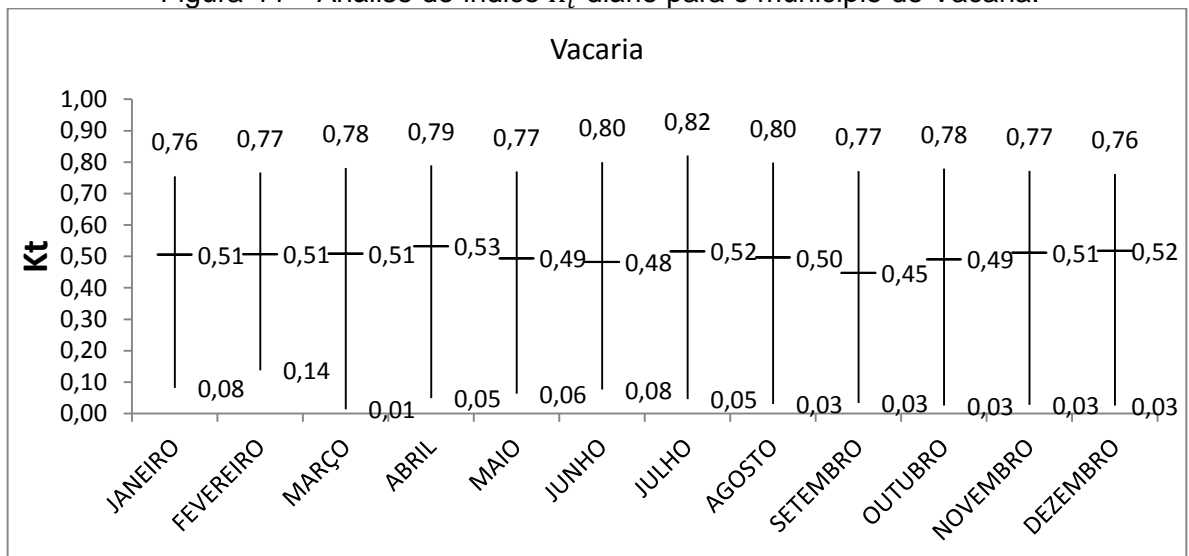


Figura 43 – Análise do índice  $K_t$  diário para o município de Uruguaiana.



Fonte: Autora (2017).

Figura 44 – Análise do índice  $K_t$  diário para o município de Vacaria.



Fonte: Autora (2017).

## 7 CONCLUSÕES

O índice  $K_t$  possui uma dependência significativa das características atmosféricas locais, sendo tais características influenciadas tanto pela dinâmica do meio ambiente quanto por atividades humanas. De uma maneira simplificada, o índice  $K_t$  é basicamente uma representação do quanto de radiação solar efetivamente incide sobre uma superfície em relação a radiação extraterrestre.

As médias mensais diárias obtidas demonstram que os valores normalmente estão entre a faixa de 0,40 e 0,60. Sendo assim, pode-se notar que os índices médios mensais diários se demonstram compatíveis, apresentando comportamento semelhantes com os índices médios mensais obtidos anteriormente, para todas as localidades.

Através da análise das médias mensais das irradiações globais horizontais observou-se a ocorrência dos seus mínimos e máximos, sendo eles: 2,16 kWh/m<sup>2</sup> no mês de julho na cidade de Porto Alegre e 7,52 kWh/m<sup>2</sup> no mês de dezembro na cidade de Bagé. A análise das médias mensais do índice de claridade atmosférica trouxe o valor máximo de 0,62 encontrado no mês de dezembro no município de Bagé e o valor mínimo de 0,41 encontrado no mês de setembro no município de Camaquã.

Os municípios de Cruz Alta e Passo Fundo, obtiveram as maiores variações mensais encontradas, maiores que 20%. Com a análise dos valores diários observou-se que a desqualificação inicial dos dados do ano de 2011 para a cidade de Cruz Alta, de acordo com o critério de qualificação inicial, pode ter influenciado a significativa variação mensal encontrada nesse município.

No município de Passo Fundo, observou-se que, os valores para o mês de maio de 2012 foram os responsáveis por comprometer a média mensal, sendo muito menores que os dos outros meses apresentados no histórico de medições. O mês em discussão apresenta um volume alto de valores negativos - os quais seriam esperados apenas para medições noturnas - não sendo considerados na média, o que resulta em uma quantidade muito menor de dados a serem contabilizados.

## 8 PESQUISAS FUTURAS

O conhecimento do comportamento do índice de claridade atmosférica de uma determinada localidade é de grande importância para o aproveitamento da radiação solar. Futuros estudos podem utilizar dos valores do índice obtido nesse trabalho para dimensionar projetos de captação da radiação solar ou até mesmo determinar as melhores localidades do estado do Rio Grande do Sul para a instalação de tais projetos.

Como exposto anteriormente, o índice  $K_t$  pode ser utilizado em diversas áreas de pesquisa e desenvolvimento. Para o conhecimento mais detalhado do comportamento do índice de claridade atmosférica, em uma localidade específica, pode-se construir um ano típico para essa variável meteorológica, porém seria necessário um histórico de medições mais longo do que o utilizado para esse estudo.

Considerando-se o grande volume de resultados apresentados, uma continuação desta pesquisa está em análises estatísticas dos valores encontrados, por exemplo, um estudo da sua distribuição de frequência. Outra possibilidade está na realização dos cálculos das parcelas difusa e direta da radiação solar para cada localidade estudada. Os valores obtidos nesse trabalho estão sendo utilizados para o desenvolvimento do Atlas Solarimétrico do Rio Grande do Sul.

## REFERÊNCIAS

DAL PAI, E.; ESCOBEDO, J. F. Estimativa da radiação atmosférica em função dos índices radiométricos  $K_t$  e  $K_d$  para Botucatu-SP. **Energia na agricultura**, Botucatu, vol.30, n.2, p172-179, abril-junho, 2015.

DUFFIE, J.; BECKMAN, W. **Solar engineering of thermal processes**. Tradução. Hoboken: Wiley, 2013.

HAAG, R. **Desenvolvimento de um radiômetro espectral e metodologia para a caracterização do espectro solar**. 106 f. Dissertação (Mestrado em Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica). – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007. Disponível em: <<http://www.bibliotecadigital.ufrgs.br/da.php?nrb=000633238&loc=2013&l=8dfde6fc1476ea94>> Acesso em: 13 de maio 2017.

HAAG, R.; KRENZINGER, A.; STOFFEL, T. Análise preliminar do “offset” térmico em piranômetros sob diferentes condições atmosféricas. **Revista Brasileira de Energia Solar**. v.2, n.2, p. 89-97, dez. 2011. Disponível em: <<https://rbens.emnuvens.com.br/rbens/article/view/62>> Acesso em: 13 de maio 2017.

INMET. **Nota Técnica No. 001/2011/SEGER/LAIME/CSC/INMET**. Disponível em <[http://www.inmet.gov.br/portal/css/content/topo\\_iframe/pdf/Nota\\_Tecnica-Rede\\_estacoes\\_INMET.pdf](http://www.inmet.gov.br/portal/css/content/topo_iframe/pdf/Nota_Tecnica-Rede_estacoes_INMET.pdf)>. Acesso em: 13 de maio 2017.

MARTINAZZO, C. A. **Modelos de estimativa de radiação solar para elaboração de mapas solarimétricos**. 185 f. Dissertação (Mestrado em Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica). – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004. Disponível em: <<http://www.bibliotecadigital.ufrgs.br/da.php?nrb=000450642&loc=2005&l=d79a38c0838e2723>> Acesso em: 13 de maio 2017.

MYERS, D. **Solar Radiation: Practical Modeling for Renewable Energy Applications**. Nova Iorque: Taylor & Francis Group, 2013.

OKOGBUE, E. C.; ADEDOKUN, J. A.; HOLMGREN, B. *Hourly and daily clearness index and diffuse fraction at a tropical station, Ile-Ife, Nigeria*. **International Journal of Climatology**, 2009.

PEREIRA, E. B. *et al.* **Atlas Brasileiro de Energia Solar**. São José dos Campos: INPE, 2006.

PINHO, J. T.; BARBOSA, C. F. O; PEREIRA, E. J. S; SOUZA, H. M. S; BLASQUES, L. C. M; GALHARDO, M. A. B; MACÊDO, W. N. **Sistemas Híbridos: Soluções energéticas para a Amazônia.** Brasília: Ministério de Minas e Energia, 2008.

PINHO, J. T.; GALDINHO, M. A. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos.** CEPEL – CRESESB. 2014.

SCHÜLER *et al.* **The enerMENA Meteorological Network: Solar Radiation Measurements in the MENA Region.** American Institute of Physics, 2015.

TERAMOTO, E. T. **Distribuição de frequência das condições do céu em função das variações climáticas em Botucatu-SP.** 78 f. Dissertação Mestrado em Agronomia), - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2010. Disponível em: <[https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/90486/teramoto\\_et\\_me\\_botfca.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/90486/teramoto_et_me_botfca.pdf?sequence=1&isAllowed=y)> Acesso em: 13 de maio 2017.

TOLMASQUIM, M.T. (Coord.). **Energia Renovável: Hidráulica, Biomassa, Eólica, Solar e Oceânica.** Rio de Janeiro: Empresa de Pesquisa Energética, 2016.

WARNECK, P. **Chemistry of the natural atmosphere.** Boston: Academic Press, 1988.

## APÊNDICE A – PLANILHAS DE DADOS FALTANTES

Planilhas referentes a quantidade de linhas – as quais correspondem a cada hora de medição – onde não constavam nenhum tipo de dado valido.

Ano	Canguçu	Chui	Cruz Alta	Erechim	Frederico Westphalen	Jaguarão	Lagoa Vermelha	Mostardas	Santana do Livramento	Santo Augusto	Palmeira das Missões	Passo Fundo
2001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2002	-	-	-	-	-	-	-	-	5413	867	-	-
2003	-	-	-	-	-	-	-	-	1659	1302	-	-
2004	-	-	-	-	-	-	-	-	635	6964	-	-
2005	-	-	-	-	-	-	-	-	636	3443	-	-
2006	-	-	-	-	-	-	-	-	414	2	-	-
2007	455	-	3	215	-	0	0	-	649	475	-	121
2008	1559	358	0	517	0	124	105	900	489	4	125	56
2009	165	93	6	545	8	213	10	9	26	10	373	6
2010	125	36	1	7	1	15	10	1531	45	10	648	1
2011	144	1727	43	282	44	18	40	995	152	1438	2731	42
2012	251	3881	1948	985	1882	792	986	307	1027	986	1233	2897
2013	94	919	1558	1551	93	86	1310	90	1813	1728	106	126
2014	0	744	0	0	0	0	0	0	-	1655	4	0

Fonte: Autora (2017).

Ano	Passo Fundo	Porto Alegre	Quarai	Rio Grande	Rio Pardo	Santa Maria	Santa Rosa	Santiago	São Borja	São José dos Ausentes	São Gabriel	São Luiz Gonzaga	Soledade	Alegrete
2001	-	1169	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2002	-	957	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2003	-	1024	-	5655	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2004	-	1224	-	6053	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2005	-	259	-	3550	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2006	-	246	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1
2007	121	10	-	52	29	196	-	-	0	38	0	0	-	1
2008	56	108	19	1432	162	34	1376	-	0	255	0	0	1143	163
2009	6	10	43	1536	8	28	365	9	398	182	7	9	1216	15
2010	1	9	19	40	124	60	673	9	9	8	13	0	2	313
2011	42	29	59	17	48	1135	51	165	915	40	42	3340	65	40
2012	2897	244	1911	241	993	1831	995	985	1920	982	1829	1671	2389	1513
2013	126	200	94	86	687	87	1017	2291	94	1097	386	104	92	1423
2014	0	0	0	0	264	0	324	0	225	0	0	257	0	0

Fonte: Autora (2017).

Ano	Vacaria	Uruguaiana	Tramandai	Torres	Ibiruba	Dom Pedrito	Teutônia	Campo Bom	Bage	Bento Gonçalves	Caçapava	Camaquã	Canela
2001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2002	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2003	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2004	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2005	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2006	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2007	-	147	-	353	-	-	-	-	23	294	-	228	-
2008	90	137	40	135	-	-	-	-	219	3	203	93	263
2009	9	12	156	15	-	-	-	-	8	576	28	8	157
2010	9	9	0	1	-	10	-	-	9	27	331	112	53
2011	41	75	206	70	-	257	-	-	159	81	446	783	153
2012	1750	1823	309	1264	-	732	744	-	242	985	1167	2032	911
2013	975	87	102	94	1119	651	108	0	89	93	186	93	105
2014	0	0	0	0	0	0	24	24	0	0	13	0	0

Fonte: Autora (2017).