

## OBTENÇÃO DO ÍNDICE DE CLARIDADE ATMOSFÉRICA PARA DIFERENTES LOCALIDADES DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL

**Georgia Andrade Tomaszewski** – g\_atomaszewski@hotmail.com

**Raiana Schirmer Soares** – raianaschirmer@gmail.com

**Rafael Haag** – rafael-haag@uergs.edu.br

Grupo de Pesquisa em Radiação Solar e Ciências Atmosféricas

Universidade Estadual do Rio Grande do Sul

**Resumo.** 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 de inúmeros fatores. 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 ( $K_t$ ) 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 e da irradiação extraterrestre horizontal, 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.

### 1. INTRODUÇÃO

Quase todas as fontes de energia conhecidas são formas indiretas da energia solar, e mesmo representando uma parcela pequena da matriz energética global, as suas perspectivas são 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 consequente independência da situação econômica, política e social dos países beneficiados, viabilizando, assim, o desenvolvimento de regiões com grande potencial de exploração. Conforme elucidado por Pereira et al. (2017), diferente de outras fontes convencionais de energia utilizadas, a energia solar é temporalmente intermitente e apresenta uma variabilidade espacial elevada em razão de sua forte relação com fatores astronômicos, associados ao movimento orbital e de rotação da terra e, com as condições meteorológicas locais, como: cobertura de nuvens ou concentração de gases atmosféricos.

O conhecimento sobre o potencial do recurso solar incidente na superfície é essencial, mas não suficiente para impulsionar o uso dessa fonte de energia. 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 incidente, 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 o comportamento dos componentes atmosféricos de uma determinada região permite determinar a variação dos níveis de energia solar do local, e consequentemente, aumentar a eficiência de projetos influenciados por essa fonte energética.

O presente trabalho tem como objetivo obter os valores médios 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.

## 2. ÍNDICE DE CLARIDADE ATMOSFÉRICA (Kt)

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).

O 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 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. Em outras palavras, o índice de claridade serve como um indicativo das condições atmosféricas, mostrando com maior clareza as variações da radiação global em função do clima.

## 3. MEDIÇÕES

A coleta das séries temporais utilizadas no desenvolvimento deste trabalho foi realizada através de estações meteorológicas automáticas (EMA) do INMET. Estas estações coletam, de minuto em minuto, as informações meteorológicas representativas da área em que está localizada. A cada hora, estes dados são integrados 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).

A coleta de dados referentes à radiação solar captados em uma estação meteorológica automática é feita através de sensores de medição. Um dos instrumentos mais utilizados nas medições de radiação solar é o piranômetro, utilizado para as medições nas EMAs. 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 mede somente a radiação difusa, já quando ele é colocado inclinado mede a radiação global no plano inclinado, incluindo o albedo, conforme MARTINAZZO (2004).

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. 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<sup>2</sup> quando efetuada por piranômetros térmicos, mais especificamente o modelo Eppley PSP.

## 4. METODOLOGIA

Os dados utilizados para a construção dos índices de claridade atmosférica foram obtidos através de estações meteorológicas automáticas, utilizando como sensor de medição um piranômetro e disponibilizados pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) para 38 municípios do estado do Rio Grande do Sul, os quais estão ilustrados na Fig. 1. Os conjuntos de dados de irradiação solar global horizontal, na unidade de kJ/m<sup>2</sup>, contam com históricos de medições que, em alguns municípios, chegam 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.

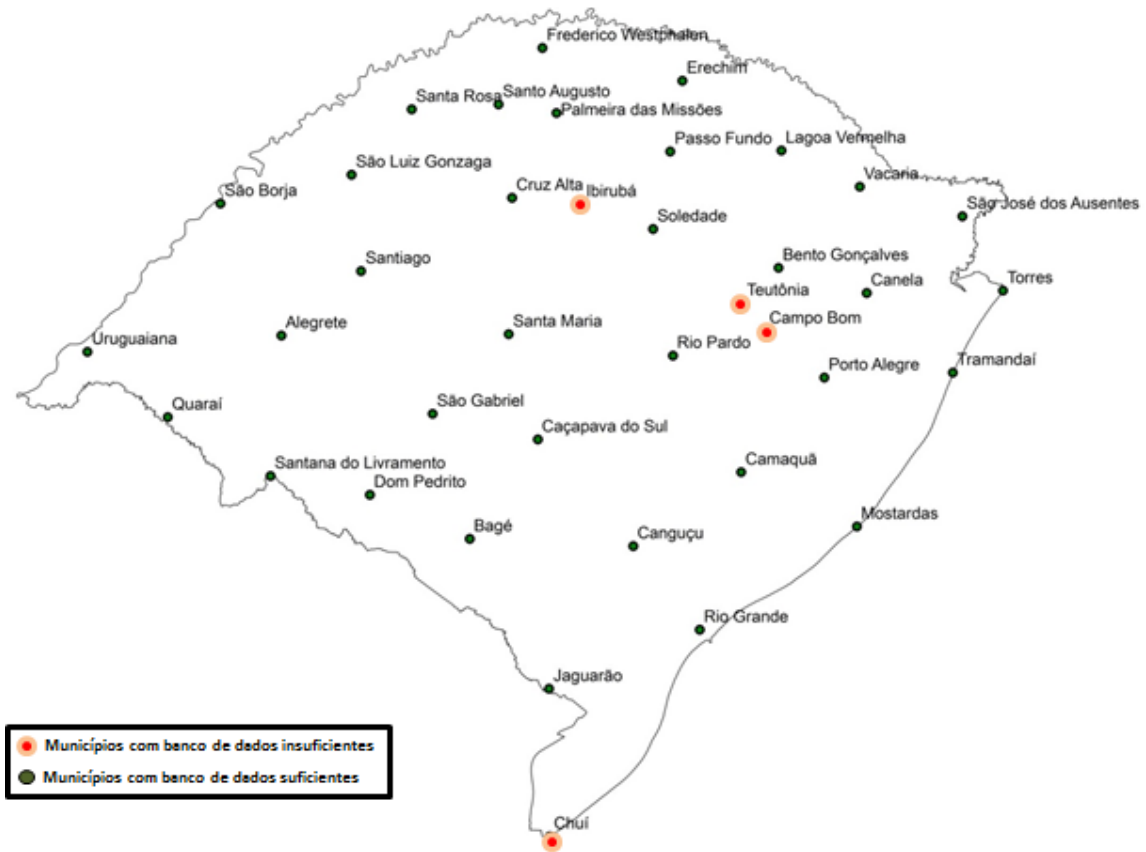


Figura 1 – Distribuição dos municípios com disponibilidade de dados para o estudo.

#### 4.1 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. Algumas dessas linhas contavam com espaços vazios ou preenchidos com barras, ou seja, nos deparamos com dados faltantes no histórico de medições. A ocorrência destas lacunas de dados para a cidade de Vacaria (28° 30' 44" S e 50° 56' 02" O) é demonstrada na Fig. 2.

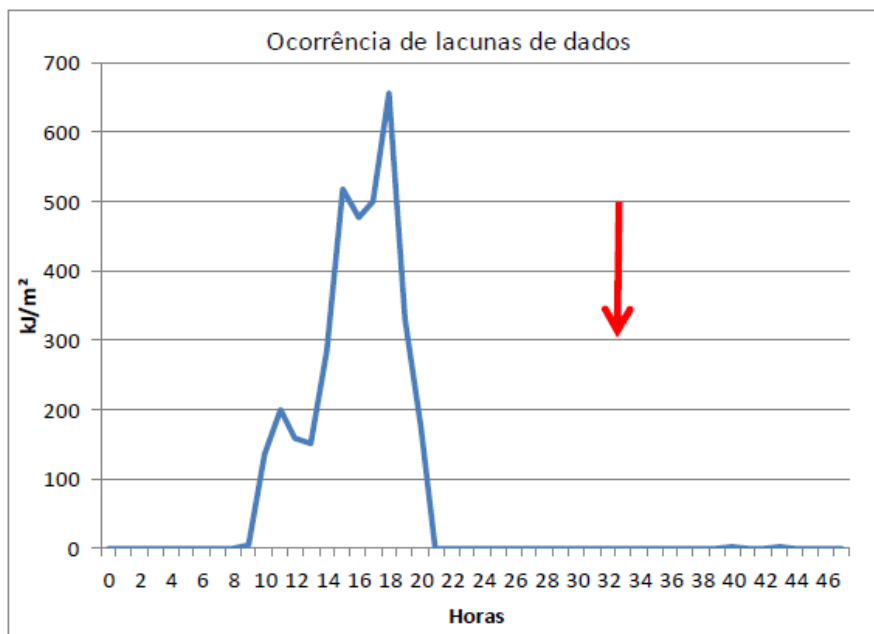


Figura 2 – Ocorrência de lacunas de dados no município de Vacaria entre os dias 13 e 14 de janeiro de 2012.

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 Fig. 1 – 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.

## 4.2 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 por Carsten Hoyer-Klick e descrita em 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 a mesma hora e o mesmo dia, de anos vizinhos.

### 4.2.1 Adaptações no preenchimento de dados faltantes

Tendo em vista, o período longo para as séries temporais e, também, devido à ocorrência das lacunas de dados, optou-se por criar planilhas em Excel para automatizar o tratamento dos dados.

A metodologia empregada buscou manter a metodologia de preenchimento de dados proposta por Carsten Hoyer-Klick, alterando apenas os métodos B e C. 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.

Após o preenchimento das lacunas de dados foi realizada uma análise de toda a série temporal de cada município em estudo para descartar possíveis não conformidades. Os valores contidos nas planilhas passaram por uma análise inicial a fim de garantir que os mesmos fossem fisicamente possíveis. Posterior a essa análise inicial e ao preenchimento das lacunas, foi realizada uma análise visual através de gráficos de dispersão contendo o histórico de dados de cada município estudado.

Valores que não correspondiam ao comportamento esperado, ou seja, valores de irradiação muito altos para a noite ou muito baixos para o dia – possíveis erros na obtenção dos dados – foram considerados como lacunas de dados e tratados através da metodologia exposta anteriormente.

## 4.3 Obtenção dos valores de irradiação

Para alcançar o objetivo principal deste trabalho, a obtenção dos valores médios do índice  $K_t$ , necessita-se encontrar os valores médios para irradiação global horizontal. Com os dados já tratados e agora convertidos de  $\text{kJ/m}^2$  para  $\text{kWh/m}^2$ , fez-se a somatória de todos os valores de irradiação solar global horizontal horária,  $I$ , registrada em cada mês da série temporal e posteriormente dividiu-se esse valor pelo número de dias do respectivo mês, chegando assim no que se denomina o dia médio de cada mês.

A etapa posterior à obtenção do dia médio de cada mês do histórico de medições de todos os municípios selecionados é a obtenção da média mensal dos valores obtidos para os doze meses do ano. A irradiação solar global horizontal diária foi obtida apenas através da somatória dos valores de irradiação horária para cada dia do histórico de medição.

Conforme explanado anteriormente, o índice  $K_t$  é a razão entre a radiação solar na superfície terrestre e a radiação solar extraterrestre. Por tal razão, fez-se necessário o cálculo da irradiação solar extraterrestre diária através da Eq. (1) conforme exposta por Duffie e Beckman (2013). Como o equacionamento depende do dia do ano, para a obtenção dos valores médios mensais da irradiação extraterrestre, foi feita uma média 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.

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

Onde,  $\phi$  corresponde a latitude,  $G_{sc}$  é a “constante solar” para qual foi utilizado o valor de 1367 W/m<sup>2</sup>,  $\delta$  o ângulo de declinação – posição angular do Sol ao meio-dia solar com relação ao plano Equador – e  $\omega_s$  é o ângulo do por do sol, obtemos, então, o valor da irradiação diária,  $H_o$ , em Wh/m<sup>2</sup>.

#### 4.4 Obtenção do índice de claridade atmosférica (Kt)

Com a obtenção dos valores diários e médias mensais para as irradiações têm-se os dados necessários para a determinação do índice Kt. Alcançamos o valor de Kt por duas bases de cálculo, primeiramente, com os valores na base diária calculou-se o índice de claridade atmosférica para cada dia da série temporal, utilizando a Eq. (2), onde  $H$  é a irradiação solar global e  $H_o$  é a irradiação solar global extraterrestre, ambas diárias e no plano horizontal.

$$K_t = \frac{H}{H_o} \quad (2)$$

Após a obtenção dos valores de Kt para todos os dias do histórico de medições de cada município, fez-se uma média 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 para todos os meses do ano e analisando seus máximos e mínimos.

Por meio de outra análise, utilizamos os valores médios de cada irradiação previamente calculados para cada cidade estudada e por meio da Eq. (3) que, diferente da equação para os cálculos de Kt exposta anteriormente, relaciona os valores médios das irradiações, obtemos o Kt médio mensal.

$$\bar{K}_t = \frac{\bar{H}}{\bar{H}_o} \quad (3)$$

Os valores do Kt médio mensal mostraram-se compatíveis através das duas metodologias de cálculo, eliminando possíveis erros de análise.

## 5 RESULTADOS

O índice Kt 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 Kt é basicamente uma representação do quanto de radiação solar efetivamente incide sobre uma superfície em relação à radiação extraterrestre.

Através da qualificação de dados, dos 38 municípios iniciais os quais o INMET havia disponibilizado dados de radiação, utilizou-se apenas 34 municípios para o desenvolvimento deste trabalho. Por meio 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 três 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.

Através da análise das médias mensais das irradiações globais horizontais observaram-se os meses que tiveram os valores máximos e mínimos obtidos em toda a análise, sendo eles: 7,52 kWh/m<sup>2</sup> no mês de dezembro na cidade de Bagé e 2,16 kWh/m<sup>2</sup> no mês de julho na cidade de Porto Alegre. As médias mensais do índice de claridade atmosférica trouxeram 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, conforme exposto na Fig. 3.

MÊS	Bagé			Porto Alegre			Camaquã		
	Global (kWh/m <sup>2</sup> )	Extraterrestre (kWh/m <sup>2</sup> )	$\bar{K}_t$	Global (kWh/m <sup>2</sup> )	Extraterrestre (kWh/m <sup>2</sup> )	$\bar{K}_t$	Global (kWh/m <sup>2</sup> )	Extraterrestre (kWh/m <sup>2</sup> )	$\bar{K}_t$
1	7,10	11,96	0,59	6,23	11,94	0,52	6,07	11,95	0,51
2	6,12	10,95	0,56	5,64	10,99	0,51	5,26	10,97	0,48
3	5,49	9,28	0,59	4,77	9,39	0,51	4,49	9,33	0,48
4	4,35	7,31	0,60	3,64	7,48	0,49	3,83	7,38	0,52
5	3,11	5,70	0,55	2,60	5,90	0,44	2,79	5,78	0,48
6	2,57	4,97	0,52	2,16	5,18	0,42	2,24	5,06	0,44
7	2,80	5,33	0,52	2,37	5,54	0,43	2,43	5,42	0,45
8	3,30	6,70	0,49	2,94	6,88	0,43	2,84	6,78	0,42
9	4,24	8,60	0,49	3,76	8,73	0,43	3,58	8,66	0,41
10	5,53	10,43	0,53	4,79	10,48	0,46	4,63	10,45	0,44
11	6,86	11,69	0,59	5,71	11,68	0,49	5,98	11,69	0,51
12	7,52	12,21	0,62	6,14	12,17	0,50	6,44	12,19	0,53

Figura 3 - Análise do índice  $\bar{K}_t$  mensal para os municípios de Bagé, Porto Alegre e Camaquã.

Os municípios de Cruz Alta e Passo fundo, os quais têm os resultados demonstrados na Fig. 4, obtiveram as maiores variações mensais encontradas, maiores que 20%, como citado anteriormente. 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.

MÊS	Cruz Alta			Passo Fundo		
	Global (kWh/m <sup>2</sup> )	Extraterrestre (kWh/m <sup>2</sup> )	$\bar{K}_t$	Global (kWh/m <sup>2</sup> )	Extraterrestre (kWh/m <sup>2</sup> )	$\bar{K}_t$
1	6,84	11,91	0,57	6,42	11,90	0,54
2	5,75	11,03	0,52	5,88	11,03	0,53
3	5,17	9,51	0,54	4,99	9,54	0,52
4	4,53	7,66	0,59	4,33	7,71	0,56
5	3,27	6,11	0,53	2,58	6,17	0,42
6	2,68	5,40	0,50	2,57	5,46	0,47
7	3,05	5,76	0,53	2,97	5,81	0,51
8	3,63	7,07	0,51	3,44	7,12	0,48
9	4,23	8,87	0,48	4,14	8,90	0,47
10	4,93	10,54	0,47	4,94	10,56	0,47
11	6,62	11,67	0,57	6,29	11,66	0,54
12	7,11	12,12	0,59	6,85	12,10	0,57

Figura 4 - Análise do índice  $\bar{K}_t$  mensal para os municípios de Cruz Alta e Passo Fundo.

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 considerado na média, o que resulta em uma quantidade muito menor de dados a serem contabilizados.

As médias mensais obtidas dispostas em ordem alfabética, Fig. 5 a 10, demonstram que os valores normalmente estão entre a faixa de 0,40 e 0,60. Com a análise gráfica, podemos visualizar com maior clareza as variações citadas anteriormente nos municípios de Cruz Alta e Passo Fundo.

Através dos cálculos dos valores diários do  $K_t$ , pode se analisar os picos de ocorrência, sendo que o maior valor do índice foi observado no município de São Luiz Gonzaga, sendo de 0,86. Os mínimos se mantiveram semelhantes em todos os municípios, chegando até 0,01.

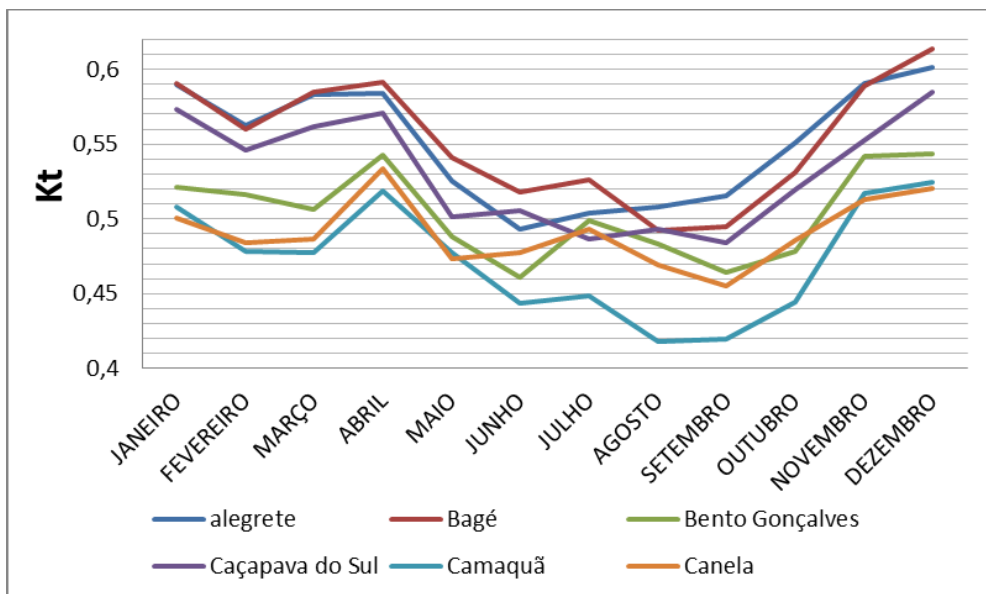


Figura 5 - Análise do índice  $\bar{K}_t$  mensal para os municípios de Alegrete, Bagé, Bento Gonçalves, Caçapava do Sul, Camaquã e Canela.

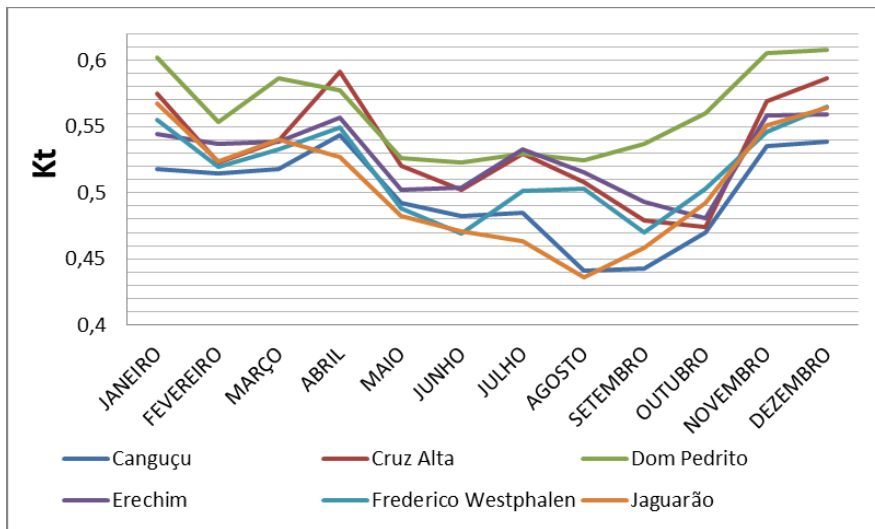


Figura 6 - Análise do índice  $\bar{K}_t$  mensal para os municípios de Canguçu, Cruz Alta, Dom Pedrito, Erechim, Frederico Westphalen e Jaguarão.

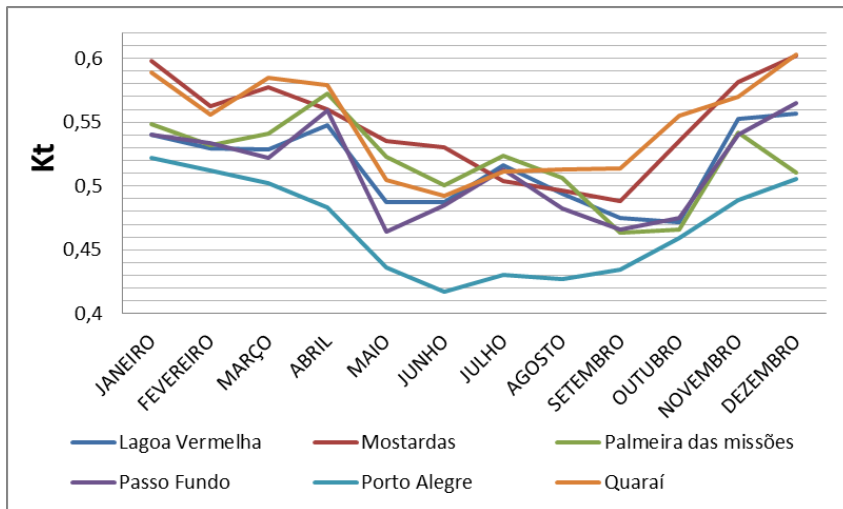


Figura 7 - Análise do índice  $\bar{K}_t$  mensal para os municípios de Lagoa Vermelha, Mostardas, Palmeira das missões, Passo Fundo, Porto Alegre e Quaraí.

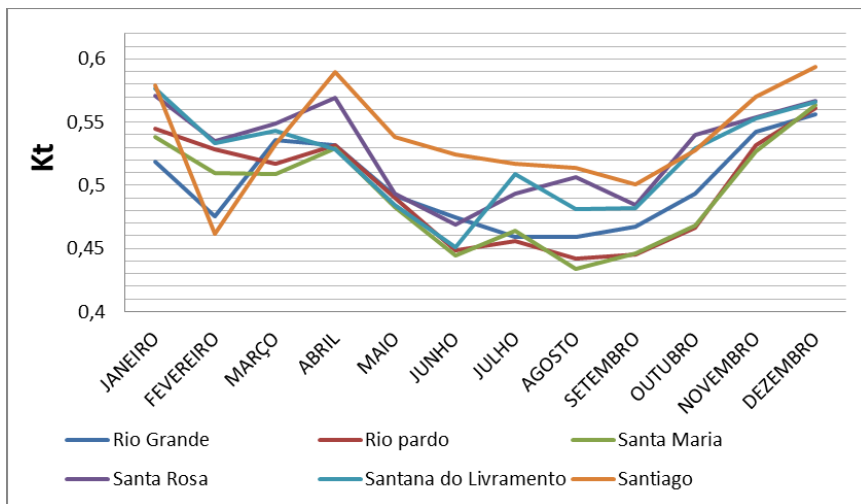


Figura 8 - Análise do índice  $\bar{K}_t$  mensal para os municípios de Rio Grande, Rio Pardo, Santa Maria, Santa Rosa, Santana do Livramento e Santiago.

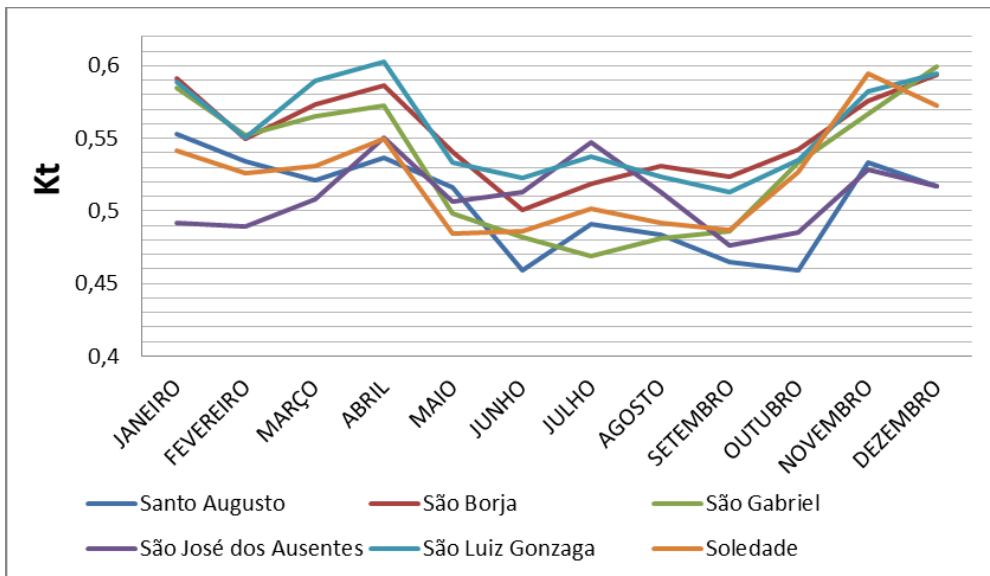


Figura 9 - Análise do índice  $\bar{K}_t$  mensal para os municípios de Santo Augusto, São Borja, São Gabriel, São José dos Ausentes, São Luiz Gonzaga e Soledade.

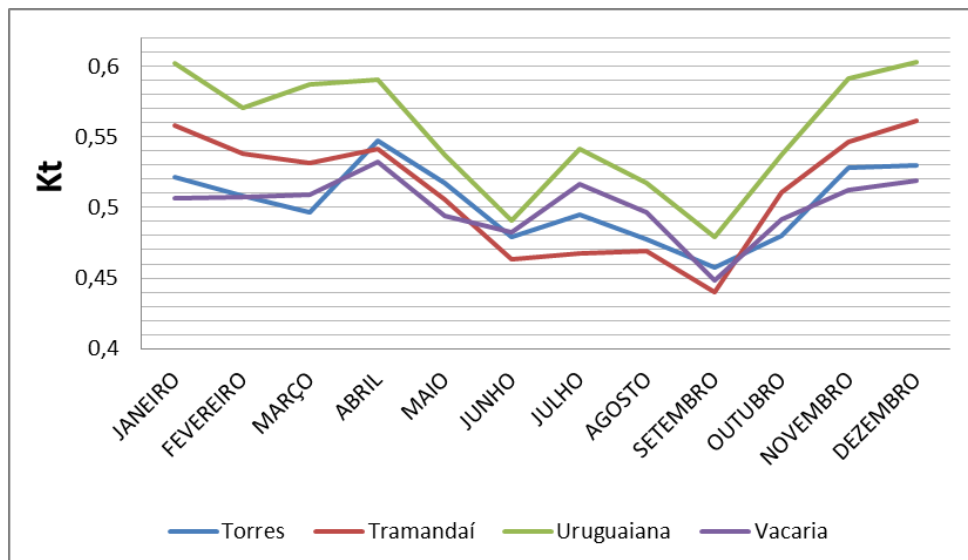


Figura 10 - Análise do índice  $\bar{K}_t$  mensal para os municípios de Torres, Tramandaí, Uruguaiana e Vacaria.

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.

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.

### Agradecimentos

À UERGS, pela bolsa de pesquisa para a realização do estudo.



## 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.; 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.
- PEREIRA, E. B. et al. Atlas Brasileiro de Energia Solar. São José dos Campos: INPE, 2017.
- SCHÜLER et al. The enerMENA Meteorological Network: Solar Radiation Measurements in the MENA Region. American Institute of Physics, 2015.
- TOLMASQUIM, M.T. (Coord.). Energia Renovável: Hidráulica, Biomassa, Eólica, Solar e Oceânica. Rio de Janeiro: Empresa de Pesquisa Energética, 2016.

## OBTAINING THE ATMOSPHERIC CLEARNESS INDEX FOR DIFFERENT LOCATIONS OF THE STATE OF RIO GRANDE DO SUL

**Abstract.** *In this work, we sought to know the behavior atmospheric clearness index ( $K_t$ ) 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 and the horizontal extraterrestrial irradiance 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.*

**Key Words:** Solar radiation, Atmospheric clearness index, Atmospheric components.