

PADRÕES HOMOGÊNEOS DE INSOLAÇÃO NO RIO GRANDE DO NORTE: UMA APLICAÇÃO DA ANÁLISE DE AGRUPAMENTOS

Samira de Azevedo Santos^{1,2} – samira.azevedo@yahoo.com.br
Jonathan Castro Amanajás^{1,2} – jonathan.amanajas@hotmail.com
Magaly de Fátima Correia¹ – magaly@dca.ufcg.edu.br
Maria Regina da Silva Aragão¹ – regina@dca.ufcg.edu.br
Bruno de Lima Soares² – brunosoares@ctgas.com.br

¹Universidade Federal de Campina Grande, Departamento de Ciências Atmosféricas

²Centro de Tecnologias do Gás e Energias Renováveis - CTGAS-ER, Natal, RN

Resumo: Em meio ao crescente incentivo ao uso de fontes de energia limpas, a energia solar está cada vez mais sendo estudada, utilizada e desenvolvida. As medições do recurso solar ainda são muito escassas. Neste contexto, a insolação é um parâmetro importante utilizado em diversos estudos meteorológicos e agrometeorológicos e suas medições possuem alta correlação com todas as componentes da radiação solar. Assim este trabalho teve como objetivo investigar a variabilidade sazonal e interanual da insolação no Rio Grande do Norte, utilizando dados diários de insolação coletados em seis estações meteorológicas no período de 2003 a 2012. A análise da variabilidade mensal da insolação evidenciou que de fevereiro a maio a ZCIT é o principal regime produtor de convecção, reduzindo a quantidade de insolação que chega à superfície. Entre os meses de junho e julho, os DOLs favorecem o desenvolvimento de convecção profunda principalmente na parte leste do Estado. De setembro a dezembro é o período de maiores intensidades de insolação, os meses de agosto e janeiro são considerados meses de transição, agosto entre o período chuvoso e o período seco e janeiro entre o período seco e o período chuvoso, embora com valores mínimos esses valores variam em torno de 6 horas de brilho do Sol médios diários. A técnica de análise de agrupamentos permitiu identificar três grupos homogêneos: os valores máximos, médios e mínimos. E através da climatologia de ROL pode-se observar a existência de anos anômalos, como é o caso do ano de 2004, considerado chuvoso contribuindo para mínimos de insolação e o ano de 2012 considerado seco, onde os potenciais de recurso solar foram acima da média. A insolação no Estado é um recurso bastante abundante, mesmo no período chuvoso, isso demonstra o enorme potencial para produção de energia solar.

Palavras-chave: Energia Solar, Insolação, Análise de Agrupamento.

1. INTRODUÇÃO

Atualmente vem despontando um crescente incentivo ao uso de fontes de energia limpas, onde os danos ao meio ambiente são minimizados e constitui-se uma forma alternativa e complementar aos procedimentos de geração de energia elétrica usuais. Nesse meio, as fontes de energia renováveis como a solar e a eólica estão, cada vez mais, sendo necessárias, utilizadas e desenvolvidas. Tanto a energia solar como a energia eólica têm por característica uma elevada variabilidade temporal, essa variabilidade está associada aos padrões meteorológicos atuantes. Portanto, conhecer o comportamento climatológico de uma região é de suma importância para o desenvolvimento de projetos que visam a exploração dessas fontes de energia.

O Rio Grande do Norte vem se consolidando como produtor de energia eólica e aponta como uma região promissora para a geração de energia solar devido seu elevado potencial solar, sendo alvo de diversos investimentos na área. Contudo, o Estado possui apenas duas estações solarimétricas com dados públicos disponíveis, uma na cidade de Caicó com dados dos anos de 2003 e 2004 e uma na cidade de Natal com dados disponíveis desde o ano de 2007, ambas pertencentes ao Projeto SONDA (Sistema de Organização Nacional de Dados Ambientais). As medições de recurso solar ainda são muito escassas, devido aos altos custos de implantação das estações solarimétricas. Uma alternativa para o estudo do recurso solar de uma região se dá através da análise da insolação, ou número de horas de brilho do Sol. O Instituto Nacional de Meteorologia - INMET possui sete estações meteorológicas que fornecem dados de insolação no Rio Grande do Norte, séries estas, climatológicas.

A insolação é um parâmetro importante utilizado em diversos estudos meteorológicos e agrometeorológicos. O processo de medição é simples e baseia-se na queima de uma faixa de papel (heliograma) através da concentração de raios solares e a observação do registro final. O instrumento de medida é denominado heliógrafo e suas medições possuem alta correlação com todas as componentes da radiação solar (Azevedo & Marques, 1987; Porfírio et al., 2011). Vale salientar que, a qualidade do papel e a umidade atmosférica são fatores limitantes para a estimativa da insolação, sendo portanto, indefinida a quantidade de radiação solar direta necessária para que ocorra a queima do heliograma (Iqbal, 1983). A Organização Mundial de Meteorologia, adotou o heliógrafo, como instrumento padrão de medida, definindo 120 W/m² como limite de queima do heliograma, admitindo 20% de flutuação em torno desse valor, e indicando o pireliômetro como sensor de referência para estimativa do brilho solar (WMO, 1985). No entanto, segundo Coulson (1975), em condições de céu claro e baixa umidade atmosférica seriam necessários para a queima 70 W/m², enquanto que em céu nublado e alta umidade atmosférica essa quantidade aumentaria para 280 W/m².

Visando identificar padrões de variabilidade espacial e temporal entre os elementos meteorológicos e os níveis de insolação no Estado optou-se pela aplicação de técnicas de análise multivariada, propiciando a identificação e compreensão dos processos físicos envolvidos em diversas escalas de tempo. A análise de agrupamento constitui uma técnica estatística que tem por finalidade reunir, por algum critério de classificação as unidades amostrais em grupos, de tal forma que exista homogeneidade dentro do grupo e heterogeneidade entre grupos (Johnson & Wichern, 1992; Cruz & Regazzi, 1994).

A análise de agrupamento possui diversas aplicações na meteorologia, principalmente sobre dados de precipitação e vento (Gong & Richman, 1995; Correia, 2000; Barreto, 2001; Muñoz-Dias & Rodrigo, 2004; Burlando et al., 2008; Oliveira Silva, 2011; Amanajás & Braga, 2012).

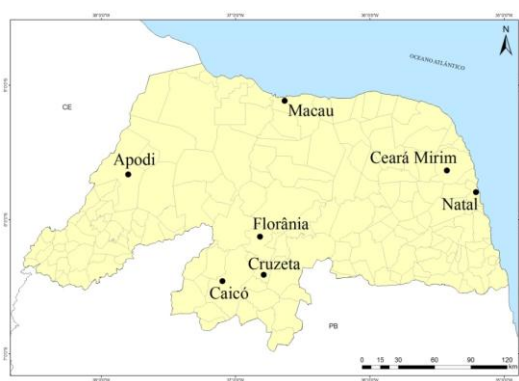
Assim, este trabalho tem como objetivo investigar a variabilidade sazonal e interanual da insolação no Rio Grande do Norte, utilizando dados diários de insolação coletados em seis estações meteorológicas no período de 2003 a 2012. A técnica estatística de análise de agrupamento permitiu identificar padrões sazonais de insolação no Estado.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Área de Estudo e base de dados

O Rio Grande do Norte está localizado no extremo nordeste do Brasil, tendo ao norte e leste o Oceano Atlântico, a oeste o Ceará e ao sul a Paraíba. O clima semiárido com pronunciada estação seca que vai de agosto a janeiro e domínio de vegetação do tipo *caatinga* composta, principalmente, de vegetação xerófila seca e esparsa, é dominante no Estado, com exceção da porção sudeste que possui clima semiúmido. O Rio Grande do Norte vem despontando pela quantidade de investimentos na área de energias renováveis, em 2010 a potência instalada para geração eólica no país aumentou 54,1% e segundo o Banco de Informações da Geração (BIG) da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), existem 90 empreendimentos eólicos em operação, 14 destes empreendimentos, estão situados no Rio Grande do Norte. De acordo com o Centro de Tecnologia do Gás e Energias Renováveis, atualmente, pelo menos 3 projetos na área de energia solar, também estão sendo desenvolvidos no Estado. O que caracteriza o Estado como grande investidor na área das energias renováveis, tornando fundamental uma melhor caracterização do recurso solar.

O Instituto Nacional de Meteorologia - INMET dispõe de sete estações no Rio Grande do Norte com dados de insolação (Fig. 1). Neste trabalho foram utilizados dados mensais de seis estações, Apodi, Caicó, Cruzeta, Florânia, Ceará Mirim e Natal, por disponibilizarem dados completos do período de janeiro de 2003 a dezembro de 2012.



(a)



(b)

Figura 1: Distribuição espacial das estações climatológicas do Instituto Nacional de Meteorologia - INMET no Rio Grande do Norte (a) e heliógrafo Campbell Stokes (b).

2.2 Análise de Agrupamento

A análise de agrupamento envolve basicamente duas etapas. A primeira, parte da estimativa de dissimilaridade entre os indivíduos enquanto que a segunda tem como princípio a determinação de uma técnica de formação de grupos (Albuquerque, 2005). A similaridade é uma medida de correspondência, ou semelhança entre indivíduos a serem agrupados, e pode ser mensurada de várias maneiras, os três métodos mais utilizados na Análise de Agrupamentos são as medidas de distância, medidas de correlação e medidas de associação, contudo, o usuário faz a escolha de acordo com a sua preferência ou conveniência (Bussab et al., 1990; Corrar et al., 2007).

Em uma análise de agrupamento existem duas premissas importantes, a de que a medida de similaridade ou dissimilaridade na qual o processo de agrupamento se baseia é uma medida válida de similaridade ou dissimilaridade entre os indivíduos. E a de que existe uma justificativa teórica para estruturar os indivíduos em grupos. Assim como em outras técnicas multivariadas, teoria e lógica orientam e fundamentam a análise de agrupamento. (Aaker et al., 2001).

A análise de agrupamento foi realizada utilizando o método de classificação hierárquica de Ward, cuja medida de similaridade usada foi a distância euclidiana quadrada, recomendada para os métodos de agrupamento centróide e de Ward (Everitt, 1993; Wilks, 2006). A distância euclidiana quadrática é obtida pela Eq. (1):

$$d_{ij}^2 = \sum_{v=1}^p (x_{iv} - x_{jv})^2 \quad (1)$$

onde:

v são as variáveis ($v = 1, 2, 3, \dots, p$);

x_{iv} é a v -ésima característica da i -ésima observação;

x_{jv} é a v -ésima característica da j -ésima observação;

O critério de agrupamento utilizado no trabalho é o proposto por Ward (1963). Segundo Reis (1997), o método de Ward baseia-se na perda de informação resultante do agrupamento das espécies e medida através da soma dos quadrados dos desvios das observações individuais relativamente às médias dos grupos em que são classificadas. A função objetivo é definida como:

$$W = \sum_{j=1}^n (x_j - \bar{x})' (x_j - \bar{x}) \quad (2)$$

onde x_j é o vetor multivariado de medidas associado com o j -ésimo item e \bar{x} é a média de todos os itens.

Os resultados do método de Ward podem ser apresentados sob a forma de um dendrograma, que é uma representação matemática e ilustrativa de todo o procedimento de agrupamento representado numa estrutura de árvore (Everitt et al., 2001).

Como *input* foi usado o modo de análise de variáveis espacial ou Modo S (Richman & Lamb, 1985; Richman, 1986). Neste modo é avaliada apenas uma variável (insolação) estando os dados dispostos conjuntamente sob a forma de matriz, onde cada n linha corresponde aos dados de um único mês para todos os anos, e as p colunas às estações. O objetivo nesse tipo de análise é identificar padrões climáticos específicos.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Variabilidade mensal da Insolação

Na Fig. 2 são mostrados os resultados obtidos a partir da variabilidade da insolação para cada mês ao longo do período de 2003 a 2012, a fim de entender os principais sistemas atmosféricos atuantes região, responsáveis pelo aumento ou diminuição da nebulosidade, e consequentemente alterações nos níveis de radiação.

A convecção é intensificada sobre o Rio Grande do Norte, quando a região está sob a influência dos regimes de precipitação. Um dos principais regimes atuantes se deve ao deslocamento mais ao sul da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), da convergência de umidade e da convecção local. Segundo Nobre e Uvo (1989), a permanência mais longa ou curta da ZCIT em torno de suas posições mais ao sul é o fator mais importante na determinação da qualidade da estação chuvosa no norte do Nordeste do Brasil, pois é isso que determina a duração da estação chuvosa. Em anos secos, a ZCIT permanece em suas posições mais ao sul de meados de fevereiro até março e, para anos chuvosos até maio. A ZCIT é um sistema de escala planetária composto de uma banda de nebulosidade profunda, principal produtor de chuva no setor norte do Estado. Consequentemente devido à grande quantidade de nebulosidade associada à ZCIT, uma fração menor de radiação solar chega à superfície. As Fig. 2b, 2c, 2d e 2e retratam a variabilidade da insolação quando a atmosfera está sob atuação desse sistema. O ano de 2012 é evidenciado nos quatro meses com altos valores de insolação em todas as estações, evidenciando um ano anômalo seco na região.

Durante os meses de junho e julho há predominância da atuação dos Distúrbios Ondulatórios de Leste (DOL) que é um distúrbio transiente de alta frequência durante o inverno no setor leste do Estado. Barbosa (2005) estudou a influência das OL na formação de perturbações convectivas sobre a região norte-nordeste do Brasil no período entre 1984 e 1998 e concluiu que as ondas estão relacionadas com o início de 60% das perturbações convectivas que se propagam mais de 450 km continente adentro, porém, não seriam os únicos fatores relacionados com a geração e propagação das perturbações convectivas. A cidade de Apodi apresenta a maior das médias mínimas ao longo do período nos meses de junho e julho, isso deve-se ao fato da cidade estar localizada mais a oeste do Estado e por isso não sofre tanta influência do fenômeno que atua na região leste.

A partir do mês de agosto, a região apresenta os maiores valores de insolação. O mês de novembro concentra os máximos de insolação em todas as estações meteorológicas. Pode-se verificar através dos dados de insolação um evidenciado período seco no Estado, sendo, portanto abundante em disponibilidade de horas de Sol.

O mês de Janeiro é caracterizado como mês de transição da estação seca para a estação chuvosa e sofre influência dos Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCAN) enquanto que o mês de Agosto é caracterizado como mês de transição da estação chuvosa para a estação seca e sofre influência de DOLs.

3.2 Análise de Agrupamento

A definição das características de cada grupo foi realizada por meio da comparação entre os grupos de um mesmo mês. A análise de agrupamento permitiu distinguir três grandes grupos homogêneos entre os meses analisados. De forma genérica, um representando os valores médios, outro representando os valores máximos e outro com os valores mínimos (Fig. 3). A Tab. 1 mostra de forma clara os grupos obtidos com a análise.

A Fig. 3 mostra a insolação média dos grupos homogêneos formados na análise conjunta para cada mês.

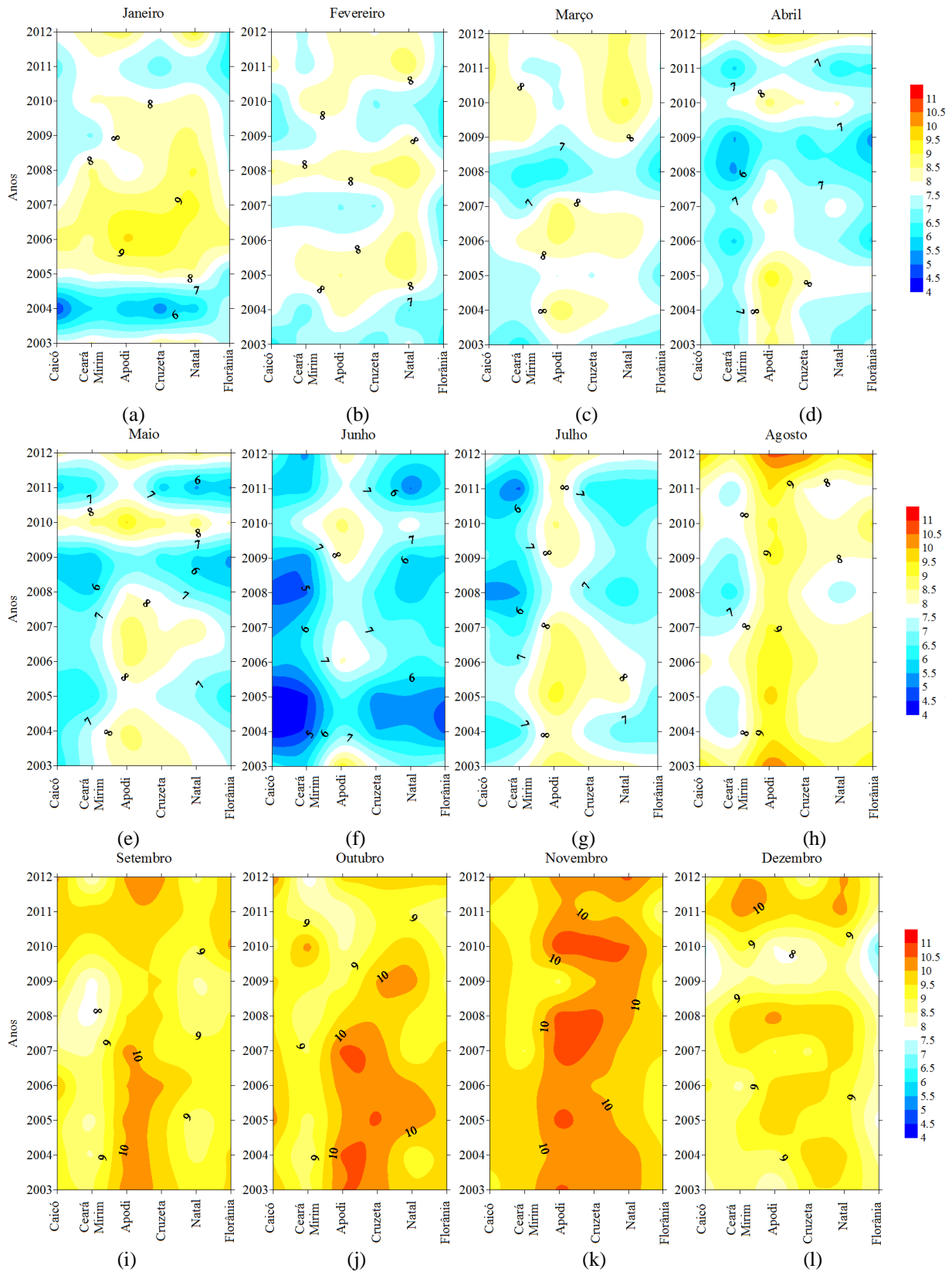


Figura 2- Variabilidade média da insolação para cada mês para o período de 2003 a 2012, das seis estações meteorológicas do INMET de (a) janeiro, (b) fevereiro (c) março, (d) abril, (e) maio, (f) junho, (g) julho, (h) agosto, (i) setembro, (j) outubro, (k) novembro e (l) dezembro. A legenda indica o número de horas de insolação.

No agrupamento para o mês de janeiro (Fig. 3a), o grupo dos valores máximos foi formado pelos anos de 2006 e 2007, a atuação dos Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCAN) provocaram inibição da convecção sobre o Nordeste, provocando déficit de precipitação em toda a região, conseqüentemente uma maior parcela de radiação solar chegou à superfície. O grupo dos valores médios foi composto pelos anos de 2003, 2005, 2008, 2009, 2010, 2011 e 2012, e o grupo dos valores mínimos foi formado pelo ano de 2004. O mês de janeiro de 2004 foi marcado por extremos de

precipitação em todo o Nordeste. No Rio Grande do Norte a atuação da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e à presença de VCAN sobre o Oceano Atlântico propiciaram máximos de precipitação (Ferreira, 2006), a nebulosidade associada aos fenômenos contribuem com a diminuição da insolação.

Tabela 1- Grupos homogêneos formados a partir da técnica de agrupamento de Ward com medida de distância euclidiana quadrática para matriz de dados no modo-S.

Meses	Agrupamentos		
	Grupo I (máximos)	Grupo II (médios)	Grupo III (mínimos)
Janeiro	2006, 2007	2003, 2005, 2008, 2009, 2010, 2011, 2012	2004
Fevereiro	2005, 2006, 2008, 2010, 2011, 2012	2004	2003, 2007, 2009
Março	2009, 2010, 2011, 2012	2004, 2006, 2007	2003, 2005, 2008
Abril	2005, 2010, 2012	2003, 2004, 2007	2006, 2008, 2009, 2011
Maiο	2010, 2012	2005, 2008, 2009, 2011	2003, 2004, 2006, 2007
Junho	2003, 2010, 2012	2006, 2007, 2008, 2009, 2011	2004, 2005
Julho	2003, 2005, 2006, 2012	2004, 2007, 2009, 2010	2008, 2011
Agosto	2003, 2012	2004, 2005, 2006, 2007, 2009, 2010, 2011	2008
Setembro	2003, 2006, 2010, 2011, 2012	2004, 2005, 2007	2008, 2009
Outubro	2003, 2004, 2005, 2006, 2007	2008, 2009, 2012	2010, 2011
Novembro	2007, 2008, 2010, 2012	2003, 2004, 2005, 2006,	2009, 2011
Dezembro	2007, 2008, 2011, 2012	2003, 2004, 2005, 2006	2009, 2010

A Radiação de Onda Longa (ROL) é uma variável muito importante para estimar quantitativamente a chuva. Na região tropical a maior parte da chuva está associada à convecção profunda. Condições mais secas que o normal corresponde a anomalias de ROL positivas (amarelo ao vermelho escuro) enquanto que condições mais chuvosas que o normal corresponde a anomalias de ROL negativas (azul claro ao azul escuro). Na Fig. 4a observa-se que o para o mês de janeiro a maior porção do Rio Grande do Norte possui condições climatológicas normais de ROL, apenas a porção mais a oeste apresenta anomalias negativas de ROL, indicando condições mais chuvosas que o normal. O ano de 2004 mostrou-se anômalo em relação a climatologia.

No agrupamento para o mês de fevereiro (Fig. 3b) o grupo dos máximos foi formado pelos anos de 2005, 2006, 2008, 2010, 2011 e 2012. O Grupo II foi formado pelo ano de 2004 e tem por característica os médios valores, com exceção das estações de Ceará Mirim e Natal que apresentaram baixos valores de insolação associado a atuação da banda de nebulosidade oriunda da ZCIT. O Grupo III foi formado pelo anos de 2003, 2007 e 2009 e tem como característica principal os menores índices de insolação, com exceção da cidade de Natal. Durante o mês de fevereiro pode-se observar o posicionamento mais ao sul da ZCIT através das anomalias negativas de ROL (Fig. 4b) que indicam que nesse período sobre o Estado do Rio Grande do Norte existem condições mais chuvosas que o normal.

No agrupamento do mês de março, o Grupo I (máximos) foi formado pelos anos de 2009, 2010, 2011 e 2012 caracterizados pelos maiores índices de insolação, com exceção do município de Apodi. O Grupo II formado pelos anos 2004, 2006 e 2007 e é caracterizado por valores médios de insolação, com exceção dos municípios de Apodi e Florânia que apresentaram valores maiores de insolação que as outras estações. O Grupo III foi composto pelos anos 2003, 2005 e 2008, que é caracterizado pelos valores mínimos de insolação. Durante o mês de março a atuação da ZCIT modula a insolação no Rio Grande do Norte. Em 2010 o posicionamento mais ao norte da ZCIT contribuiu para a maior escassez de chuva, ou seja, menor nebulosidade, contudo, linhas de instabilidade (LIs) contribuíram para elevados totais de chuva no setor oeste, explicando os baixos índices registrados em Apodi (Climanálise, 2010). A fig. 4c mostra a climatologia de anomalia de ROL evidenciando a atuação da ZCIT.

Em abril, o Grupo I foi composto dos anos 2005, 2010 e 2012, cuja característica principal são os máximos valores de insolação. O Grupo II foi composto pelos anos de 2003, 2004 e 2007 que é caracterizado pelos valores médios de insolação no período. Já o Grupo III, composto pelos anos de 2006, 2008, 2009 e 2011, é caracterizado pelos valores mínimos. Foi verificado que a atuação combinada entre ZCIT e LIs contribuíram para a maior nebulosidade na porção oeste do Estado, enquanto que episódios de Distúrbios Ondulatórios de Leste (DOL) influenciaram a nebulosidade na parte leste.

No agrupamento do mês de maio (Fig. 3f), o Grupo I, composto dos anos 2010 e 2012 é caracterizado pelos valores máximos de insolação. Esses valores máximos de insolação estão associados ao déficit pluviométrico (menor nebulosidade) devido à atuação mais ao norte da ZCIT e ao enfraquecimento dos ventos próximo à costa leste do Nordeste (Climanálise, 2010). Segundo a Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte - EMPARN o mês de maio de 2012, de acordo com os índices pluviométricos, classificou os municípios de Apodi, Caicó e Florânia como muito seco Cruzeta e Ceará Mirim foram considerados secos e apenas o município de Natal foi classificado como normal. O Grupo II foi formado pelos anos 2005, 2008, 2009 e 2011, e caracterizado pelos valores médios de insolação. Enquanto que o Grupo III foi composto pelos anos de 2003, 2004, 2006, 2007 e foi classificado com os menores índices. Segundo o Boletim Climanalise (2007) na primeira quinzena de maio, as chuvas estiveram associadas à ZCIT, à formação de linhas de instabilidade, enquanto a atuação de distúrbios de leste foi notada na segunda quinzena. Climatologicamente as anomalias de ROL indicam condições normais sobre o Estado para o mês de maio.

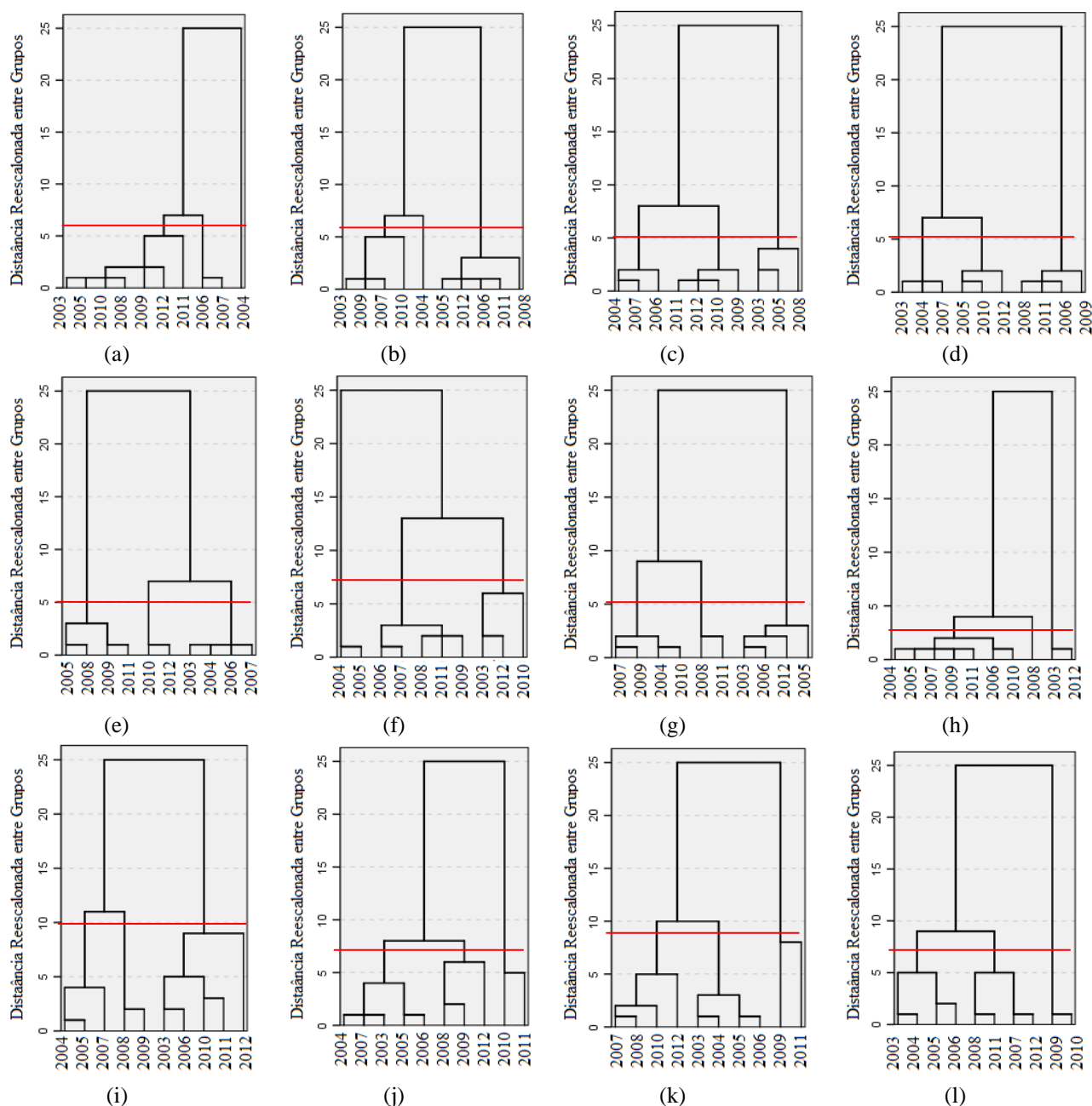


Figura 3 - Dendrograma da definição de anos homogêneos entre os meses de: (a) janeiro, (b) fevereiro, (c) março, (d) abril, (e) maio, (f) junho, (g) julho, (h) agosto, (i) setembro, (j) outubro, (k) novembro e (l) dezembro (Fonte dos dados: INMET).

A técnica de AA permitiu separar nos meses de junho (Fig. 3g) e julho (Fig. 3h), os anos com máximos valores de insolação, médios e mínimos valores. Durante esses meses é o período de maior frequência de DOL, segundo Berry et al., (1945), os DOLs são distúrbios que se propagam para oeste na área dos ventos alísios, apresentando configurações ondulatórias nos campos de vento e pressão e dentre outras características, provoca o aumento de nebulosidade. A climatologia de ROL indica condições normais sobre o Estado para os dois meses (Fig. 4g e 4h).

No agrupamento do mês de agosto (Fig. 3i), a técnica permitiu separar os valores máximos, médios e mínimos. Destaca-se o ano de 2008 que foi agrupado sozinho no Grupo 3 (mínimos). Segundo o Boletim Climanalise (2008) a formação de aglomerados de nuvens estratiformes associados à propagação de Distúrbios Ondulatórios de Leste (DOL) e a atuação mais intensa dos ventos de sudeste continuaram favorecendo o aumento das chuvas entre o Rio Grande do Norte e Alagoas, destacando-se os totais acumulados entre os dias 07 e 08 nas cidades de Ceará Mirim-RN (146 mm). Pode-se observar pela climatologia de ROL (Fig. 4i) que o mês de agosto apresenta anomalias positivas, indicando condições mais secas que o normal.

Na análise do mês de setembro o Grupo I, formado pelos anos de 2003, 2006, 2010, 2011 e 2012 que tem por característica principal os maiores valores de insolação. O Grupo II foi formado pelos anos de 2004, 2005 e 2007 que é caracterizado pelos valores médios de insolação no período estudado, com exceção da cidade de Apodi. A Fig. 3j mostra a variabilidade da insolação no mês de setembro no período de 2003 a 2012, observa-se que a cidade de Apodi

no período de 2003 a 2007 e no ano de 2012 possui os valores mais elevados de insolação do período. O Grupo III foi formado pelos anos de 2008 e 2009 é caracterizado pelos menores valores de insolação. No ano de 2009, o escoamento associado ao Anticiclone Semipermanente do Atlântico Sul (ASAS) causou aumento da nebulosidade estratiforme. Na Fig 4j pode-se observar que a climatologia de anomalia de ROL é positiva em todo o Estado.

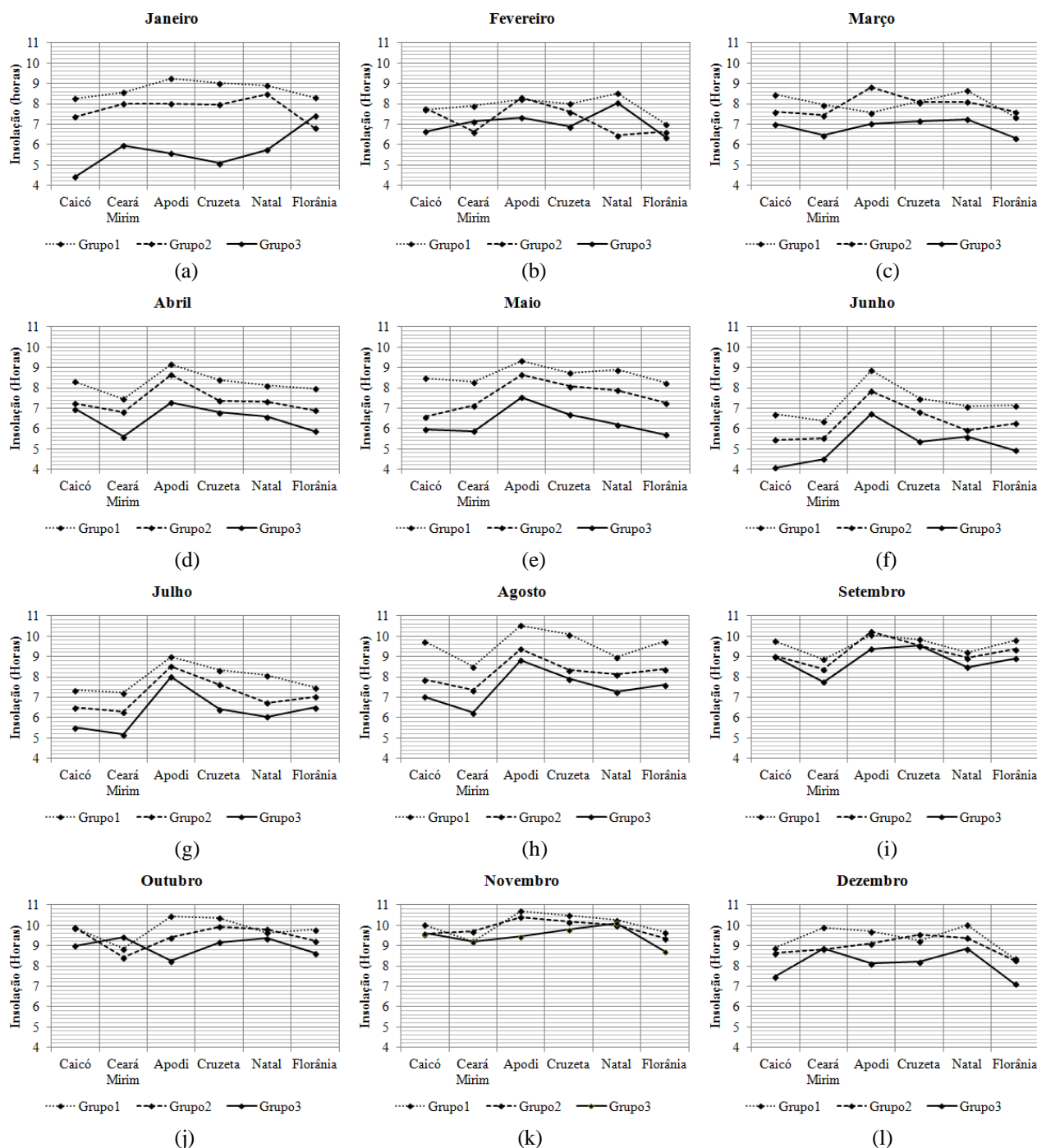


Figura 3 - Insolação média dos grupos homogêneos formados na análise conjunta para o mês de: (a) janeiro, (b) fevereiro, (c) março, (d) abril, (e) maio, (f) junho, (g) julho, (h) agosto, (i) setembro, (j) outubro, (k) novembro e (l) dezembro.

No agrupamento do mês de outubro, o Grupo I foi formado pelos anos de 2003, 2004, 2005, 2006 e 2007 que é caracterizado pelos maiores valores de insolação, com exceção das estações de Ceará Mirim e Natal. O Grupo II foi composto pelos anos de 2008, 2009, 2012, enquanto que o Grupo III foi formado pelos anos de 2010 e 2011, que é caracterizado pelos menores valores de insolação, com exceção da estação de Ceará Mirim. A proximidade das estações de Natal e Ceará Mirim com o Oceano Atlântico, faz com estejam portanto, sob o efeito direto dos sistemas de brisas. Segundo Rotunno et al., (1992) as brisas não são fenômenos exclusivos de tempo claro. Elas afetam e interagem com vários tipos de nuvens. A diferença térmica entre a terra aquecida e o oceano mais frio aumenta ao longo do dia e a circulação da brisa se intensifica. A frente de brisa avança para dentro do continente e é identificada pela nebulosidade em forma de linha no período da tarde, aproximadamente paralela à costa e para dentro do continente (Simpson, 1994).

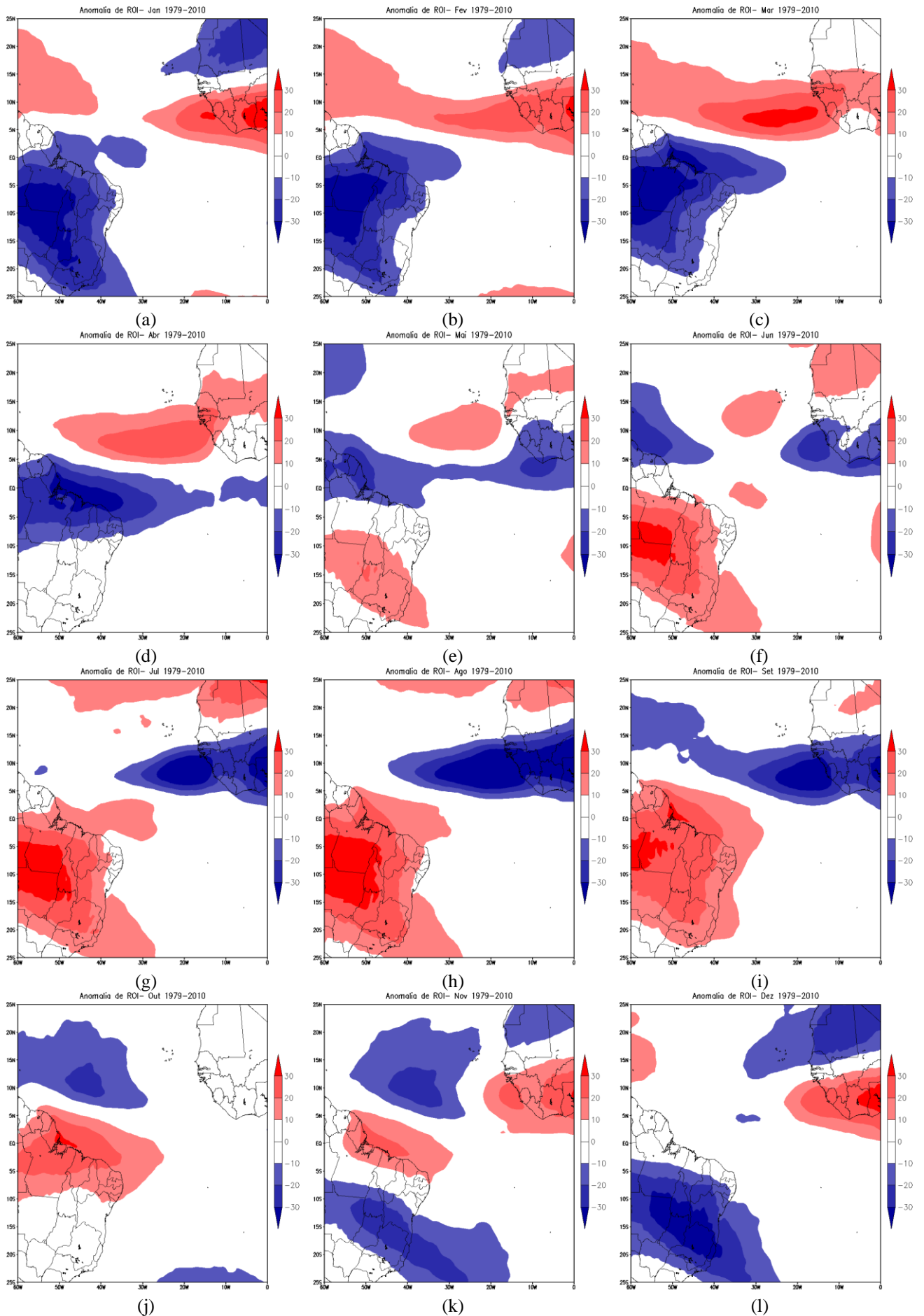


Figura 11 - Climatologia da Anomalia de ROL para o período de 1979 a 2010, das seis estações meteorológicas do INMET (a) e insolação média dos grupos homogêneos formados na análise conjunta para o mês de junho (b).

No agrupamento do mês de novembro, o Grupo I foi formado pelos meses de 2007, 2008, 2010 e 2011, sua característica principal foi os máximos valores de insolação no período, com exceção da estação de Ceará Mirim. O segundo grupo foi formado pelos anos de 2003, 2004, 2005 e 2006 e teve como característica apresentar valores médios de insolação. O Grupo III foi formado pelos anos de 2009 e 2011 e teve por característica apresentar os menores valores do período. O mês de novembro é o que apresenta os maiores índices de insolação em relação aos outros meses do ano. Assim como no mês de outubro a cidade de Ceará Mirim difere do grupo dos maiores índices. Segundo o Boletim Climanálise as chuvas foram inferiores ao esperado do ponto de vista climatológico, contudo, os totais mensais excederam os valores médios históricos na faixa leste do Nordeste, que vai do Rio Grande do Norte, ocasionado pela atuação de VCANs.

No mês de dezembro o Grupo I foi formado pelos anos de 2007, 2008, 2011 e 2012 teve sua principal característica os máximos valores, com exceção da estação de Cruzeta. O Grupo II foi formado pelos anos de 2003, 2004, 2005 e 2006, que é caracterizado pelos valores médios de insolação. O terceiro Grupo III foi formado pelos anos de 2009 e 2010, caracterizou-se pelos menores valores de insolação. A climatologia de anomalia de ROL indica um padrão dentro da normalidade.

4. CONCLUSÕES

Este trabalho investigou os principais fenômenos atmosféricos atuantes no Rio Grande do Norte que influenciam a intensidade da insolação. A técnica de Análise de Agrupamentos permitiu identificar 3 grupos principais. O Grupo I formado pelos anos em que a insolação obteve os máximos valores do período estudado, o Grupo II formado pelos valores médios e o Grupo III formado pelos menores índices de insolação do período. As análises permitiram concluir que os regimes de precipitação contribuem para os valores mínimos de insolação e que anos anômalos foram identificados tanto em relação a períodos secos, quanto períodos chuvosos. A insolação no Estado é um recurso bastante abundante, mesmo no período chuvoso, isso demonstra o enorme potencial para produção de energia solar.

Agradecimentos

Agradecimento à CAPES, à UFCG e ao CTGAS-ER pelo apoio no desenvolvimento deste trabalho.

REFERÊNCIAS

- Aaker, D. A.; Kumar, V.; Day, G. S., 2001. Pesquisa de marketing, São Paulo: Atlas, 745p.
- Albuquerque M. A., 2005. Estabilidade em Análise de Agrupamento (Cluster Analysis). Dissertação (Mestrado em Biometria) – UFRPE. Departamento de Física e Matemática.
- Amanajás, J. C.; Braga, C. C., 2012. Padrões Espaço-Temporal Pluviométricos na Amazônia Oriental Utilizando Análise Multivariada. Revista Brasileira de Meteorologia, v.27, n.4, p.423-434.
- Azevedo, A. J.; Marques, C. V., 1987. Insolação – Atlas do meio ambiente. Lisboa. Portugal: Secretaria de Estado do Ambiente e Recursos Naturais. Notícia explicativa.
- Barbosa, R. L., 2005. Interação das perturbações convectivas iniciadas na costa Norte do Brasil com Distúrbios Ondulatórios de Leste. São José dos Campos. 81 p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, 1997.
- Barreto, A. B., 2001. Estudo do ciclo diário do vento à superfície no Nordeste do Brasil. Dissertação de Mestrado em Meteorologia. UFPB, Campina Grande.
- Berry, F. A.; Bolla, Jr. E.; Beers, N. R., 1945. Handbook of Meteorology. Mc Graw-Hill, 1068 p.
- Burlando, M.; Antonelli, M.; Ratto, C. F., 2008. Meso-scale Wind climate analysis: identification of anemological regions and Wind regimes. International Journal of Climatology, v.28, p. 629-641.
- Bussab, W. de O.; Miazaki, E. S; Andrade, D., 1990. Introdução à análise de agrupamentos. São Paulo: Associação Brasileira de Estatística. 105p.
- Climanálise, 2003-2012. Cachoeira Paulista-SP: INPE/CPTEC, mensal. Boletim de monitoramento e Análise Climática. ISSN 0103-0019 CDU-555.5.
- Corrar, L. J.; Paulo, E.; Dias Filho, J. M., 2007. Análise multivariada para os cursos de administração, ciências contábeis e economia. Ed. Atlas. São Paulo.
- Correia, A. A., 2000. Padrões de variabilidade do vento à superfície no Nordeste do Brasil. Dissertação de Mestrado em Meteorologia. UFPB, Campina Grande.
- Coulson, K.L. Solar and terrestrial radiation – methods and measurements. New York: Academic Press, 1975. 322p.
- Cruz, C. D.; Regazzi, A. J. Divergência genética. In: Cruz, C. D.; Regazzi, A. J. Métodos biométricos aplicados ao melhoramento genético. Viçosa, UFV: Imprensa Universitária. 1994, cap. 6, p. 287-323.
- Everitt, B. Cluster Analysis. Heinemann Educational Books, 3. ed. London, 1993. 170p
- Everitt, B. S.; Landau, S.; Leese, M., 2001. Clusters analysis. 4ª Ed. London: Arnold. 207p.
- Ferreira, A. G., 2006. Meteorologia Prática. Ed. Oficina de Textos, São Paulo.
- Gong, X.; Richman, M. R. On the application of cluster analysis to growing season precipitation data in North American East of the Rockies. Journal of Climate, 8:897-924, 1995.

- Iqbal, M., 1983. An introduction to solar radiation. New York; Academic Press.
- INMET - Instituto Nacional de Meteorologia. Disponível em: www.inmet.gov.br
- Johnson, R. A.; Wichern, D. W., 1992. Applied multivariate statistical analysis. 3 ed. New Jersey: Prantice Hall. 642p.
- Muñoz-Díaz, D., Rodrigo, F. S. Spatio-temporal patterns of seasonal rainfall in Spain (1912–2000) using cluster and principal component analysis: comparison. *Annales Geophysicae*, 22:1435-1448, 2004.
- Nobre, C. A.; Uvo, C. R. B., 1989: A Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e a precipitação no norte do Nordeste do Brasil. Parte I: A Posição da ZCIT no Atlântico Equatorial. *Climanálise*, Vol. 4, número 07, 34 – 40.
- Oliveira Silva, P. K., 2011. Análise multivariada aplicada ao vento na área costeira do Nordeste do Brasil. Dissertação de Mestrado em Meteorologia. PPGMET, UFCG, Campina Grande.
- Porfírio, A. C. S.; Ceballos, J. C.; Souza, J. L.; Rodrigues, M. L., 2011. Uma análise da insolação diária estimada por heliógrafo, pireliômetro equivalente e satélite em Maceió, AL. In: Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, 17. Guarapari, ES. Anais, Guarapari SBagro.
- Reis, E., 2001. Estatística Multivariada Aplicada. 2 ed. Edições Sílabo. Lisboa, ISBN 972-618-247-6.
- Richman M. B.; Lamb P. J. Climatic Pattern-Analysis of 3-day and 7-day Summer Rainfall in the Central United-States – Some Methodological Considerations and a Regionalization. *Journal of Climate and Applied Meteorology*, v. 24 (12), p.1325-1343, 1985.
- Richman, M. B. Rotation of principal components. *Journal of Climatology*, 6:293-335, 1986.
- Rotunno, R. et al., 1992. Coastal Meteorology. A review of the state of the science. Panel on Coastal Meteorology, Committee on Meteorological Analysis, Prediction, and Research, Board on Atmospheric Sciences and Climate, Commission on Geosciences, Environment, and Resources, National Research Council, National Academy of Sciences. Washington: The National Academy Press, 112 p.
- Simpson, J. E. Sea breeze and local wind. Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1994. 234 p.
- Ward, J. H., 1963. Hierarchical grouping to optimize an objective function. *Journal of the American Statistical Association*. Alexandria, v.58, n.301, p.236-244.
- World Meteorological Organization (WMO), 1985. Dependence on threshold solar irradiance of measured sunshine duration (K. Dehne). In: WMO Technical Conference on Instruments and Methods of Observation (TECIMO III), 3., 1985, Geneva. Proceedings. Geneva: WMO, p. 263-271. Report No. 22, WMO/TD-No. 50.
- Wilks, D. S. Statistical Methods in the Atmospheric Sciences. 2. ed. London, Academic Press, 2006. 649p.

HOMOGENEOUS PATTERNS OF INSOLATION IN RIO GRANDE DO NORTE: AN APPLICATION OF CLUSTER ANALYSIS

Abstract. *According to the growing incentive to use clean energy sources, solar energy is increasingly being studied, used and developed. Measurements of solar resources are still very scarce. In this context, the insolation is an important parameter used in many meteorological and agro-meteorological studies and their measurements are highly correlated with all components of solar radiation studies. Therefore this study aims to investigate the seasonal and interannual variability of insolation in Rio Grande do Norte using daily insolation data collected at six weather stations in the period of 2003-2012. The analysis of the monthly variability of insolation showed that from February to May, the ITCZ is the main responsible for the convection production, reducing the amount of sunlight reaching the surface. Between June and July, the easterly wave disturbances process contributes for the development of deep convection mainly in the eastern part of the state. From September to December is the period of greatest intensity of insolation; the months of August and January are considered transition months (August between rainy season and dry season and January the opposite), although these insolation values are considered minimum, they have a good average value of 6 hours. The Cluster Analysis Methodology allowed to identify three homogeneous groups: the maximum, average and minimum values. And through the long wave radiation climatology it's possible to identify the existence of anomalous years, for example, the rainy year 2004 which has contributed for minimum insolation values and the dry year 2012, where the solar resource potential were above average. Rio Grande do Norte has a great amount of insolation, even in the rainy season. It demonstrates the huge potential for solar energy production.*

Key words: *Solar Energy, Insolation, Cluster analysis.*