ISSN:1984-2295

Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: www.ufpe.br/rbgfe

Um balanço do curso de ciências atmosféricas no sul de Minas Gerais: ensino, pesquisa, extensão e benefícios à sociedade

Michelle Simões Reboita¹, Marcelo de Paula Corrêa², Marcelo Rodrigues³, João Pedro Rodrigues da Silva⁴

¹ Dra. em Meteorologia, professora adjunta, coordenadora do curso de graduação em Ciências Atmosféricas, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, MG. reboita@gmail.com (autor correspondente). ² Dr. em Meteorologia, professor associado, vice-diretor do Instituto de Recursos Naturais da Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, MG. mpcorrea@gmail.com. ³ Mestre em Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Itajubá. gr4fitt3@gmail.com. ⁴ Graduando em Ciências Atmosféricas, Universidade Federal de Itajubá. joao.9174@gmail.com.

Artigo recebido em 23/11/2016 e aceito em 22/12/2016

RESUMO

As atividades humanas tanto influenciam quanto são influenciadas pelo tempo e clima. Neste contexto, a meteorologia tem papel cada vez mais importante sobre a economia e sustentabilidade da sociedade, por estar intrinsecamente ligada à atividade agropecuária, produção e distribuição de energia, ao lazer e turismo, ao transporte, à saúde das populações, dentre outras. Por essa razão, pesquisas científicas em Ciências Atmosféricas, com foco em atividades locais, regionais ou continentais, têm cada vez mais importância e profissionais desta área têm aumentado sua notoriedade. Diante do exposto, o objetivo desse trabalho é oferecer um panorama do tempo e do clima no sul do Estado de Minas Gerais, região muito sensível às mudanças climáticas por reunir e depender das atividades socioeconômicas supracitadas. Esse material é resultado de pesquisas realizadas nesses seis anos de existência do curso de Ciências Atmosféricas da Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI). O curso, único no Estado de Minas Gerais, tem possibilitado a formação de profissionais e, portanto, contribuído para o estabelecimento de uma massa mínima de pesquisadores dedicados à mitigação e adaptação das populações às dificuldades e carências locais e regionais.

Palavras-chave: ciências atmosféricas, sustentabilidade, mitigação, adaptação, ensino, meteorologia.

Balance of the atmospheric sciences graduation course in the south of Minas Gerais State: teaching, research, extension and benefits to society

ABSTRACT

Human activities influence and are influenced by weather and climate. In this context, meteorology plays an important role in economy and sustainability of the society, once it is linked with agricultural activities, production and distribution of energy, leisure and tourism, transportation, health of populations so on. For this reason, scientific research in atmospheric sciences, focusing on local, regional or continental activities, have become increasingly important and professionals in this area have increased their notoriety. The purpose of this work is to provide an overview of the weather and climate in the southern of Minas Gerais State, a region that is very sensitive to climatic changes due to its dependence on socioeconomic activities cited. This material is the result of studies and researches carried out in six years of the existence of the Atmospheric Sciences course at Federal University of Itajubá (UNIFEI). The course, unique in the Minas Gerais State, has made possible the formation of professionals and, therefore, contributed to the establishment of a minimum mass of researchers dedicated to the mitigation and adaptation of the populations.

Keywords: atmospheric sciences, sustainability, mitigation, adaptation, teaching, meteorology.

Introdução

No ano de 1913, foi fundado o Instituto Eletrotécnico e Mecânico de Itajubá (IEMI), cidade localizada na serra da Mantiqueira no sul do Estado de Minas Gerais (MG, Figura 1). Em 1965 ocorreu a federalização do instituto, mas a denominação de Escola Federal de Engenharia de Itajubá (EFEI) só foi adotada em 1968. Em 24 de abril de 2002, a

Escola passou ao status de Universidade pela lei federal número 10.425, recebendo a atual denominação de Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI). Com o Programa de Apoio a Planos de Reestruturação e Expansão das Universidades Federais (Reuni), iniciado em 2008, foi possível expandir o número de cursos de graduação

oferecidos na UNIFEI e um dos cursos implementados foi o de Ciências Atmosféricas (CAT).

Figura 1. Localização da cidade de Itajubá em relação ao Estado de Minas Gerais e Brasil.

O curso de CAT iniciou suas atividades em março de 2010 e até hoje continua sendo o único curso de tal área no Estado. A motivação para o projeto e implementação do curso foi a necessidade de formação de profissionais voltados para o mercado de trabalho e para os problemas existentes em MG. Por exemplo, segundo a Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG, 2014), o Estado é responsável por mais de 50% de toda a safra brasileira de café e é o segundo maior produtor nacional de milho e feijão. A diversidade dos sistemas de tempo e clima e de cultivos no Estado já justifica a necessidade de meteorologistas que conheçam as especificidades e sejam formados na região. O turismo é outra atividade relevante para a economia e também dependente da meteorologia. A região da Serra da Mantiqueira destaca-se pelo turismo de montanha e esportes radicais. O Circuito das Águas também é outro destaque turístico do Estado e inclui as cidades de Baependi, Cambuquira, Campanha, Carmo de Minas, Caxambu, Conceição do Rio Verde, Lambari, São Lourenço, Soledade de Minas e Três Corações (SENAC Minas, 2017). Outras cidades também são bastante procuradas pelos turistas como: Poços de Caldas, pelo poder medicinal de suas águas; Ouro Preto pela diversidade de minerais; ou, ainda, Tiradentes pelo seu conteúdo histórico. Profissionais em CAT

também são importantes nas atividades relacionadas às diferentes fontes de energia alternativa, tais como a hidráulica, eólica, solar, dentre outras. Com relação à geração de energia hidrelétrica, destaca-se em MG a usina hidrelétrica de Furnas localizada no curso médio do Rio Grande, entre os municípios de São José da Barra e São Batista do Glória (Furnas, s/d).

O sul de MG é caracterizado por ser uma região sensível a eventos extremos, principalmente pelos danos e impactos às atividades citadas no parágrafo anterior. Por esse motivo, é mais do que relevante a necessidade de profissionais em CAT para a realização de previsão de tempo e clima e estudos na área de hidrometeorologia para a prevenção e mitigação de danos causados por estiagens, secas, inundações e alagamentos.

No sul de MG, encontra-se o Rio Sapucaí (Figura 2). Esse rio nasce na cidade de Campos de Jordão (SP) e percorre 248 km até desaguar no Lago de Furnas, MG (Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Sapucaí, 2010). Ao longo do seu percurso, o rio passa por várias cidades mineiras como Itajubá, Santa Rita do Sapucaí e Pouso Alegre. Com relação à Itajubá, Barbosa et al. (2015) apresentam um histórico das inundações causadas por esse rio que afetaram a cidade. Uma das piores inundações foi a ocorrida em janeiro de 2000.

Diante desse contexto socioeconômico complexo e importante, a motivação desse estudo se baseia nas seguintes premissas: a) necessidade de formação de especialistas com conhecimentos particulares para a região; b) incrementar o número de pesquisadores em CAT no país; e, c) caracterizar e destacar os principais aspectos meteorológicos e climatológicos do sul de Minas Gerais de modo a facilitar a identificação de aspectos sensíveis para a região. Com base nesses motivadores, o presente artigo se pauta em dois objetivos. O primeiro é o de divulgar o curso de graduação em CAT da UNIFEI, seu breve histórico e perspectivas, a fim de ampliar a rede de colaborações e despertar o interesse de novos alunos e pesquisadores. O segundo, de cunho científico, é qualificar o tempo e o clima de Itajubá com base em dados medidos na estação meteorológica localizada no campus da Universidade e por meio da síntese dos trabalhos que abordam as características atmosféricas no sul de MG.

Figura 2. Bacia hidrográfica do Rio Sapucaí (roxo) e trajetória do Rio Sapucaí (azul escuro) no sul de Minas Gerais. Adaptado de IGAM (2010).

O curso de ciências atmosféricas da UNIFEI

O objeto de estudo do curso de CAT é a atmosfera, mas para entendê-la é preciso considerar os demais elementos que compõem nosso planeta, tais como as superfícies terrestre e aquática. Nesse amplo contexto, há inúmeras linhas de atuação e pesquisa como: análise e previsão de tempo e clima, poluição atmosférica, biometeorologia, agrometeorologia, hidrometeorologia, interação oceano-atmosfera, interação solo-planta-atmosfera, radiação atmosférica entre outras. Face a essa diversidade, o nome Meteorologia, proveniente do grego Meteoros (o que está no ar, o que está por cima de nós), torna-se restrito, sendo mais adequado o nome Ciências Atmosféricas, que permite uma ideia mais ampla da interação entre os diferentes componentes do sistema terrestre. De qualquer modo, o graduado em CAT tem as mesmas

atribuições daqueles formados nos cursos de Meteorologia.

Para obtenção do grau de bacharel em Ciências Atmosféricas, o aluno deve cursar as disciplinas obrigatórias do curso, 160 horas de disciplinas optativas, 60 horas de atividades complementares, 180 horas de estágio supervisionado e desenvolver o trabalho final de graduação (esses trabalhos são disponibilizados em <http://saturno.unifei.edu.br/bim/>), perfazendo um total de mais de 3200 horas integralizadas. O corpo docente é interdisciplinar, possuindo profissionais graduados em diferentes áreas, tais como Engenharia Florestal, Física, Geografia, Matemática e Meteorologia, possibilitando a transmissão do conhecimento com diferentes “olhares” e necessários para a formação de um profissional em CAT.

No Centro de Estudos e Previsão de Tempo e Clima de Minas Gerais (CEPreMG, Figura 3a) são desenvolvidas boa parte do monitoramento de

dados meteorológicos, modelagem numérica e ministradas diversas disciplinas do curso, tais como Meteorologia Sinótica, Modelagem Numérica da Atmosfera e Laboratório de Previsão de Tempo. Outros laboratórios de destaque são: a) o Laboratório Computacional de Meteorologia, onde são ministradas as aulas de Computação Científica Aplicada às Ciências Atmosféricas e aulas práticas de diferentes disciplinas; b) o Laboratório de Geofísica dos Fluidos, onde são realizados experimentos físicos e de dinâmica da atmosfera; e a c) Casa de Vegetação (Figura 3b), onde são realizados experimentos com cultivos controlando termodinamicamente o ambiente. O curso ainda conta com a Estação Meteorológica, cuja estrutura dispõe de abrigo meteorológico para atividades de instrumentação meteorológica e estação meteorológica automática (Figura 3c) para obtenção de dados que são utilizados em diferentes disciplinas e pesquisas. Além dos laboratórios de

CAT, a UNIFEI possui outros que permitem o desenvolvimento de atividades didáticas e de pesquisa como: canal de escoamento onde podem ser realizados estudos de vazão, túnel de ondas que facilita o ensino de conceitos de Oceanografia e a réplica de uma Pequena Central Hidrelétrica. O curso além das disciplinas específicas da CAT oferece disciplinas que permitem um desenvolvimento interdisciplinar dos estudantes: como Ecologia Geral, Introdução ao Empreendedorismo, Introdução à Astronomia, Introdução à Ciência da Geoinformação, Mídia em Meteorologia e Política Energética, Geração e Uso de Energia. Essas disciplinas visam atender carências observadas em outros cursos de graduação no país, preparando o aluno não só para a carreira acadêmica, mas também para o mercado de trabalho por meio de uma visão empreendedora e multidisciplinar.

Figura 3. Laboratórios do curso de CAT: (a) CEPreMG, (b) Casa de Vegetação e (c) Estação Meteorológica.

Em geral, os alunos de CAT complementam suas atividades por meio de projetos de pesquisa científica coordenados por docentes do programa e financiados por agências de fomento ou pela UNIFEI. O curso de CAT

também incentiva a participação dos alunos em projetos de extensão, tais como os programas “Sol Amigo” e “Amigos do Clima”. O primeiro visa o desenvolvimento de ações junto à comunidade, escolas, meios de comunicação e poder público

com o objetivo de sensibilizar e conscientizar a população sobre os riscos da exposição excessiva ao Sol, sem uma proteção adequada. Desse modo, o aluno de CAT tem a oportunidade de contribuir para a prevenção de doenças decorrentes do excesso de exposição ao Sol, tal como os cânceres de pele, e observar como aspectos meteorológicos exercem impactos sobre a economia e a saúde das populações. Já o projeto “Amigos do Clima” tem como meta levar conhecimentos sobre meteorologia, climatologia e hidrologia aos alunos de escolas públicas municipais de Itajubá-MG e, com a ajuda desses, produzir um banco de dados sobre a espacialidade das chuvas em tal município (Reboita et al., 2016). Ainda visando a interação com a sociedade, o curso de CAT disponibiliza no sítio: <https://meteorologia.unifei.edu.br> dados em tempo real das variáveis atmosféricas medidas na estação meteorológica automática situada no campus da Universidade, um boletim com a síntese mensal da evolução das principais variáveis atmosféricas em Itajubá e a previsão de tempo para até 72 horas. A previsão é realizada por estudantes do curso de CAT.

Com relação aos alunos egressos, numa pesquisa realizada no início de janeiro de 2017, verificou-se que 70% dos graduados estão vinculados a programas de mestrado, 10% a programas de doutorado, 7% trabalhando na área e realizando mestrado concomitantemente, 7% trabalhando na área, 3% realizando outro curso de graduação e 3% sem ocupação definida.

Variáveis atmosféricas em Itajubá

Nesta seção é apresentado um resumo das principais variáveis meteorológicas registradas pela estação meteorológica automática da marca Davis, instalada no campus da UNIFEI (22° 24' 46"S e 45° 27'06"W; 850 metros de altitude) (Figura 3c) desde abril de 2010. Essa estação tem provido dados utilizados numa série de estudos que vêm caracterizando o tempo e o clima da região.

Conforme a classificação climática de Köppen, o clima de Itajubá é o Cwa, isto é, clima temperado úmido com inverno seco e verão quente (Reboita et al., 2013; Sá Júnior, 2009); e, temperatura média do mês mais quente superior a 22° C. De fato, considerando o período de 2010 a 2016, em Itajubá a maior temperatura média é de 23,3° C em fevereiro e a menor é de 15,1° C em julho (Figura 4). Com relação à precipitação, o total médio anual é de 1458 mm, sendo que cerca de 80% desse valor ocorre entre os meses de outubro a março (Figura 5). Os verões úmidos e invernos secos, típicos da região sudeste do Brasil são evidenciados na análise da umidade relativa, cujos

valores nos meses de julho e agosto podem, durante o período vespertino (15h), atingir valores significativamente baixos, UR < 30% (Figura 6). A variabilidade mensal da cobertura de nuvens acompanha a da precipitação, sendo que em janeiro há mais de 50% do céu encoberto por nuvens, enquanto que em agosto menos de 30% de cobertura é observada (Figura 5). Esses valores de cobertura de nuvens são estimados mensalmente por um modelo matemático calibrado por Assireu et al. (2012) com dados da estação automática da UNIFEI. Um pequeno atlas de nuvens características em Itajubá pode ser verificado em Bernardes et al. (2014).

Figura 4. Média mensal da temperatura mínima (azul), máxima (vermelho) e média (verde) (°C) computada com dados medidos na estação meteorológica automática da UNIFEI entre 2010 e 2016. As barras verticais indicam o desvio-padrão das temperaturas médias.

A direção predominante do vento em Itajubá é a norte sendo influenciada por sistemas de escala sinótica e mesoescala. Em termos de escala sinótica, os ventos do setor oeste do Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul contribuem para ventos de quadrante norte sobre o sul de MG, enquanto que em mesoescala a configuração da topografia da região, em virtude da cidade estar localizada num vale, favorece o desenvolvimento de uma circulação vale-montanha. Reboita et al. (2014a) constaram que a brisa de montanha (da montanha para o vale, isto é, de norte para sul na cidade) se estabelece entre 15-16 horas local (HL) e tem sua máxima intensidade entre 21-22 HL. Já a brisa de vale (do vale para a montanha, isto é, de sul para norte) se estabelece entre 07-08 HL e tem a sua máxima intensidade entre 11-14 HL. Como a brisa de montanha, que é caracterizada por ventos de norte, é mais duradoura, também acaba contribuindo para a predominância de ventos dessa direção.

Figura 5. Média mensal da precipitação (mm, barras) e cobertura de nuvens (% , linha) computada com dados medidos na estação meteorológica automática da UNIFEI entre 2010 e 2016. As barras indicam o desvio-padrão da precipitação.

Figura 6. Média mensal da umidade relativa do ar (%) em três horários do dia (9, 15 e 21 horas local) computada com dados medidos na estação meteorológica automática da UNIFEI entre 2010 e 2016. As barras verticais indicam o desvio-padrão das umidades relativas médias.

O monitoramento de radiação solar também é realizado. As análises do índice ultravioleta (IUV) mostram que entre 10h e 15h (Figura 7), o IUV pode atingir valores muito significativos com consequentes danos à saúde humana em caso de superexposição. A faixa de valores muito alto (em vermelho) e extremo (violeta) é comumente atingida em medidas pontuais, realizadas em horários próximos ao meio-dia solar, não somente no verão, mas também no outono e na primavera. É importante notar que a Figura 7 mostra a média de todos os dados registrados na faixa horária de maior insolação. Porém, é muito comum valores de IUV superiores a 11 (extremo) em horários próximos ao meio-dia solar (Corrêa e Pires, 2013).

Figura 7. Valores médios do índice ultravioleta (IUV) medidos entre 10 h e 15 h (hora local) pela estação meteorológica automática da UNIFEI entre 2010 e 2016. As barras verticais indicam o desvio-padrão das médias do IUV. As faixas coloridas horizontais indicam a escala de danos à saúde recomendada pela OMS: Verde – Baixo; Amarelo – Médio; Laranja – Alto; Vermelho – Muito Alto e Violeta – Extremo.

Um boletim de monitoramento das condições atmosféricas em Itajubá é disponibilizado mensalmente por meio do website <http://cat-unifei.blogspot.com/>. Esse boletim é elaborado com a colaboração do corpo técnico e de estudantes do curso de CAT. Além das variáveis meteorológicas básicas, o boletim apresenta o valor máximo diário do índice de estresse térmico, que é um indicador para as horas mais apropriadas para atividades físicas, bem como o valor do índice de aridez.

Tempo e clima no sul de Minas Gerais

A precipitação no centro-sul de MG pode alcançar 900 mm no verão, o que representa cerca de 60% do total anual de precipitação. Com relação às médias anuais das temperaturas, no sul do Estado a média da temperatura mínima é de cerca de 14° C, da média é de 21° C e da máxima é de 27° C (Reboita et al., 2015a). A Figura 8, de Reboita et al. (2015a), apresenta a distribuição espacial da média anual da precipitação e da temperatura do ar em MG; já a Figura 9 foi construída para o presente estudo com dados de 18 estações hidrometeorológicas localizadas na bacia hidrográfica do Rio Sapucaí (Figura 2).

Figura 8. Distribuição espacial da média anual da precipitação (mm; painel superior) e da temperatura do ar (°C; painel inferior) em no Estado de Minas Gerais. Fonte: Reboita et al. (2015a).

As séries temporais da Figura 8 incluem o período de 2011 a 2014, pois entre o final de 2014 e início de 2015 as estações foram desativadas. Para manter o monitoramento da precipitação e da vazão ao longo do Rio Sapucaí foi retomado o convênio entre a Prefeitura Municipal de Itajubá, Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA) e UNIFEI. Em meados de 2016 a prefeitura adquiriu um sistema de recepção automático de dados para colocar em funcionamento seis estações. Essas estão operando e terão suas informações disponibilizadas em <https://meteorologia.unifei.edu.br>. Os dados das estações hidrometeorológicas passaram por um controle de qualidade realizado por Silva (2016). Através da Figura 9 é possível acompanhar a evolução mensal da precipitação bem como a sua espacialidade ao longo do Rio Sapucaí. No período em estudo, a estação dos Borges, localizada em Piranguçu, a 15 km de distância de Itajubá, foi a que apresentou o maior total médio anual de precipitação, enquanto a de Conceição dos Ouros, 68 km de Itajubá, o menor.

Em termos de classificação climática, Reboita et al. (2015a) mencionam que na classificação de Köppen-Geiger, o clima Aw

(clima tropical de savana com estação seca no inverno) é predominante em MG, mas no sul do Estado e nas serras do Espinhaço e Mantiqueira ocorrem os climas Cwa (clima temperado úmido com inverno seco e verão quente) e Cwb (clima temperado úmido com inverno seco e verão moderadamente quente), o que concorda com os resultados de Sá Júnior (2009) e de Reboita et al. (2013). Já o índice de aridez indica condições úmidas no sul do Estado entre a primavera e o outono e semiáridas no inverno.

A precipitação no verão no sul de MG é influenciada tanto pela atividade convectiva local quanto pelos sistemas atmosféricos associados ao desenvolvimento da monção sul-americana (Reboita et al., 2010, 2015a). Detalhes sobre esses sistemas são apresentados em Reboita et al. (2015a). De forma sucinta, a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), influenciada pela umidade que é transportada do oceano Atlântico para o continente pelos ventos do setor oeste do Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS; Vianello e Maia, 1986; Reboita et al., 2010), pela umidade transportada pelos jatos de baixos níveis provenientes da Amazônia em direção ao sudeste do Brasil e pelas frentes frias, contribui grandemente para a estação chuvosa no sudeste do Brasil.

Silva e Reboita (2014) mostraram que no sul de Minas Gerais, o período úmido da monção se inicia entre 8 e 17 de outubro (pêntadas 57 e 58) e acaba por cerca de 17 a 31 de março (pêntadas 16 a 18). Santos e Garcia (2016) também realizaram um estudo para identificar o início e o fim da estação chuvosa no Estado de MG. Enquanto Silva e Reboita (2014) analisaram diferentes postos pluviométricos, Santos e Garcia (2016) consideraram a média da precipitação sobre todo o Estado e também utilizaram um segundo método de identificação baseado na radiação de onda longa emergente. Em geral, os resultados obtidos nesses estudos são similares, exceto pelo método baseado em radiação de onda longa indicar o fim mais tardio da estação chuvosa (pêntada 29, entre 21 a 25 de maio).

No inverno, a convecção diminui sobre a América do Sul, os sistemas de monção enfraquecem e o ASAS (Figura 10) se torna mais intenso e deslocado para oeste favorecendo a redução da precipitação no sudeste do Brasil (Reboita et al., 2010). Nessa estação do ano, a chuva é principalmente associada à passagem de frentes frias no sul de MG. Silva et al. (2014) verificaram que em Maria da Fé, cidade vizinha de Itajubá, cerca de 60% da chuva ocorrida no inverno é decorrente da passagem de frentes frias. Ainda com relação às frentes frias, há a atuação de cerca

de 30 sistemas por ano (Silva et al., 2014), com o inverno e a primavera apresentando a maior ocorrência desses sistemas, enquanto o verão a

menor (Penna, 2013, Silva et al., 2014, Cardozo et al., 2015).

Figura 9. Média mensal da precipitação (mm) no sul de Minas Gerais no período de 2011 a 2014.

Figura 10. Posicionamento médio do ASAS no a) verão (DJF, painel da esquerda) e b) inverno (JJA, painel da direita) através da pressão ao nível médio do mar (hPa) entre 1980 a 2015. A figura foi elaborada com dados da reanálise ERA-Interim. Fonte: Santos (2016).

Reboita et al. (2015b) caracterizaram os padrões sinóticos da atmosfera associados com ondas de frio no sul de MG. Com base em dados atmosféricos medidos na estação meteorológica de

Lavras, foi registrada a média anual de 1,8 eventos de ondas de frio no período de 1965 a 2014. Entretanto, o desvio-padrão é da mesma ordem da média $\pm 1,7$ eventos. Considerando dados de

pressão ao nível médio do mar e a técnica de Padrões de Sequências Principais (PSPs), foram identificados 6 PSPs associados às ondas de frio, sendo 4 relacionados a processos advectivos e 2 a processos radiativos. Em superfície, o PSP que explica a maior variabilidade dos dados é o associado com um anticiclone entre o Pacífico e o sul da América do Sul e um ciclone no oceano Atlântico.

Ferreira et al. (2016) computaram a climatologia de dois índices de instabilidade na América do Sul: o índice K e o Total Totals (TT) (Peppier, 1988). No sul de MG, e considerando o horário das 00:00Z, o menor valor de K é obtido no inverno (16) e o maior no verão (36); o mesmo ocorre para o TT (42 e 46, respectivamente). Isso indica que a atmosfera é mais instável no verão. Da estação do verão para o outono é quando os casos de ocorrência de dengue aumentam em MG e sendo o outono a estação de maior incidência. Entre 2008 e 2012, o centro e o oeste do Estado é que apresentaram maior número de notificações de dengue. Já o sul de MG teve o menor número (Silva et al., 2017).

Através do monitoramento da radiação solar ultravioleta (R-UV) feito no campus da

UNIFEI, Corrêa e Pires (2013) mostraram que a região registra média de 4180 Jm⁻² (com desvio-padrão de 1320 Jm⁻²) de R-UV eritêmica, isto é, aquela potencialmente danosa à saúde humana. Para se ter ideia do potencial de dano, um indivíduo de pele clara, pouco pigmentada que apenas se queima e nunca se bronzeia, necessita de apenas 250 Jm⁻² para apresentar avermelhamento de pele. Um indivíduo de pele mais pigmentada, que geralmente se bronzeia e dificilmente se queima, em geral necessita de 450 Jm⁻² de energia. Ou seja, como a Organização Mundial de Saúde (OMS) recomenda a exposição diária a pouco mais de uma centena de Jm⁻², em um dia de verão é comum termos dezenas de vezes mais R-UV eritêmica do que a necessária. Outro dado avaliado é o Índice UV, ferramenta recomendada pela OMS para divulgação do potencial danoso da radiação solar. Esse índice é uma escala referente ao potencial de dano à saúde, sendo Baixo: IUV < 2, Moderado: 3 a 5, Alto: 6 a 7, Muito Alto: 8 a 10 e Extremo: para IUV > 11. A Figura 11 mostra um exemplo dessas medidas coletadas em um dia de céu claro no verão (02/02/2016).

Figura 11. Medidas de índice ultravioleta e dose eritematosa registradas durante o dia 02/02/2016 em Itajubá/MG. Na figura à esquerda, as faixas coloridas indicam a escala de IUV: Baixo (verde), Médio (amarelo), Alto (laranja), Muito Alto (vermelho) e Extremo (violeta). Na figura à direita, as linhas horizontais coloridas e tracejadas mostram os valores de doses eritematosas recomendada pela OMS (linha verde) e necessárias para provocar eritema em peles mais sensíveis (linha laranja – fototipo II) e mais resistentes (linha vermelha – fototipo IV).

A Figura 11 expõe a importância das medidas de R-UV, pois o registro de IUV em escalas que exigem atenção é observado na maior parte do dia, mesmo em horários geralmente considerados seguros, tais como antes das 10h da manhã ou após às 15h. As doses eritematosas mostram que, num dia de céu claro de verão, um

banho de Sol mesmo antes das 10h da manhã, sem o uso do protetor pode oferecer riscos significativos para indivíduos mais sensíveis. Esse tipo de estudo interdisciplinar é um dos pontos fortes explorados no curso de CAT. Outros estudos relacionados à saúde, tais como a poluição do ar também são conduzidos na UNIFEI. Por exemplo,

dados relativos à presença de aerossóis atmosféricos podem ser observados em tempo real por meio da página Aeronet/NASA (<http://aeronet.gsfc.nasa.gov/>)

Em termos de variabilidade interanual, Silva e Reboita (2014) verificaram que a precipitação em MG não é significativamente afetada pelos eventos de El Niño, porém em eventos de La Niña, há redução estatisticamente significativa dessa variável no centro-leste do Estado. Na mesma época do estudo de Silva e Reboita (2014) surgiu uma classificação dos tipos de El Niño (Yu e Kim, 2013): El Niño clássico, quando esse se origina no Pacífico Tropical leste próximo da região de Niño1+2; El Niño Modoki, quando se origina no Pacífico Tropical central próximo da região de Niño4 e El Niño MIX quando esses dois tipos de El Niño, que podem ser dirigidos por diferentes mecanismos, ocorrem ao mesmo tempo. Então, diferente do estudo de Silva e Reboita (2014), Andreoli et al. (2016) avaliaram o impacto dos diferentes tipos de El Niño na precipitação da América do Sul. Durante eventos clássicos de El Niño pode ocorrer precipitação acima da média climatológica no Estado de MG, sendo este resultado estatisticamente significativo. Em eventos de El Niño MIX também pode ocorrer precipitação acima da média climatológica, enquanto que em casos de eventos de El Niño Modoki, precipitação abaixo da média climatológica.

O sul de MG também é afetado por eventos extremos climáticos secos e úmidos. Segundo Silva Dias (2014), para o entendimento de como se definem os extremos climáticos, onde e por que ocorrem, necessita-se de uma visão global do clima da Terra, pois um extremo climático não ocorre isoladamente num lugar e há conexões com eventos em outras partes do globo. Nesse contexto, pode-se citar o déficit de precipitação ocorrido no sudeste do Brasil no verão de 2014 (Reboita et al., 2015c e Coelho et al., 2015). Como uma fonte de calor anômala no norte/nordeste da Austrália perturbou a atmosfera em termos globais (Coelho et al., 2015), ocorreu o deslocamento do ASAS para oeste de sua posição climatológica implicando em anomalias positivas de pressão atmosférica sobre o sudeste do Brasil e anomalias positivas de temperatura da superfície do mar próximas à costa sul-sudeste do país (Reboita et al., 2015c e Coelho et al., 2015). Essas características contribuíram para a redução de precipitação na região sudeste. A Figura 12 é um exemplo do comportamento da precipitação no mês de janeiro dos anos de 2011 a 2016 com base nos dados medidos no campus da UNIFEI. Em janeiro de 2014, o total de precipitação foi de 84 mm, ou seja, 66% abaixo do

valor médio esperado no mês. A crise hídrica no sudeste do Brasil continuou no ano seguinte, como também mostrado na Figura 12. Com a deficiência hídrica, o nível dos reservatórios d'água baixou levando ao racionamento de água (Marengo et al., 2015), por exemplo, na capital paulistana. Só não ocorreram “apagões” no país, como nos anos de 2001-2002, por causa do investimento do governo federal em usinas térmicas (Mercedes et al., 2015).

Figura 12. Total da precipitação (mm; linha azul tracejada) no mês de janeiro dos anos de 2011 a 2016 medida na estação meteorológica da UNIFEI. A linha preta indica a média da precipitação no referido mês.

O Estado de MG também é afetado por episódios de excesso de precipitação. Reboita et al. (2017) mostram as condições atmosféricas associadas a dois episódios de inundação em cidades do sul de MG. Em ambos os casos (16 de janeiro de 1991 e 02 de janeiro de 2000), a persistência da ZCAS, que se estendeu da Amazônia passando pelo sudeste do Brasil e chegando ao oceano Atlântico, contribuiu para totais diários elevados de precipitação e, consequentemente, inundações. Outro exemplo é dado por Escobar (2014) que avaliou os padrões da circulação atmosférica associados com as anomalias positivas de precipitação registradas em MG no mês de dezembro de 2011. Nesse caso, foi verificada uma configuração de bloqueio de tipo “dipolo” no oceano Atlântico, isto é, presença de um anticiclone localizado a cerca de 50°W e 45°S e de uma baixa ao norte do anticiclone a cerca de 25°S. Esse padrão também está associado com a atuação de episódios da ZCAS. Recentemente, Cavalcanti (2016) analisou casos de extremos de precipitação na região sudeste do Brasil. Para isso, foi analisado o índice SPI (*Standardized Precipitation Index*) entre 1985 e 2014. Os meses de janeiro, abril, julho e novembro representaram as estações do ano verão, outono, inverno e

primavera, respectivamente. De acordo com a autora, os 5 casos mais chuvosos e mais secos de cada mês foram selecionados a partir dos valores do SPI para análise de compostos de anomalia de precipitação, anomalia de pressão ao nível do mar, anomalia do vento em altos níveis (250 hPa) e radiação de onda longa. Mostrou-se que os casos chuvosos extremos e severos são mais numerosos do que os casos secos. Na análise dos compostos, obteve-se um padrão do dipolo de precipitação entre a região sudeste do Brasil e a região sudeste da América do Sul nos meses de janeiro, abril e novembro. No mês de julho, a configuração dos casos chuvosos parece estar associada à presença de sistemas frontais atuando na região sudeste.

Com relação ao clima futuro, Reboita et al. (2014b) utilizaram o modelo Regional Climate Model version 3 (RegCM3) e o cenário A1B do Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) para projetar o clima futuro na América do Sul. Para a precipitação, sobre MG projeta-se redução da precipitação na estação de inverno no período de 2070-2100 comparado ao presente, porém para a temperatura do ar, no mesmo período, projeta-se aumento de 3° a 4° C em MG. Já, uma composição da projeção de diferentes modelos climáticos globais do IPCC para o período de 2081 a 2100 com o cenário RCP8.5 indica precipitação menor do que no clima atual no inverno e primavera sobre MG (IPCC, 2013). Em relação às mudanças climáticas, Tibúrcio e Corrêa (2012) fizeram uma análise de índices de vulnerabilidade socioeconômica, epidemiológica e climática da região, revelando a potencial possibilidade da influência do clima sobre a vulnerabilidade geral da região.

Para finalizar essa seção, destaca-se que o curso de CAT executa, em modo operacional (Campos et al., 2016), o modelo *Weather Research and Forecasting* (WRF) a fim de fornecer subsídios para a previsão de tempo de até 72 horas para o sul de MG que é realizada pelos estudantes do curso. Tanto as saídas do modelo quanto a previsão para Itajubá são disponibilizadas em <https://meteorologia.unifei.edu.br>.

Conclusões

Este trabalho apresentou um breve balanço das atividades de ensino, monitoramento e pesquisas realizadas desde o início das atividades do curso de Ciências Atmosféricas na Universidade Federal de Itajubá no ano de 2010. A importância desse curso não se restringe somente ao crescimento da Universidade, mas também à oportunidade de oferecer a prestação de serviços à comunidade local e regional; o que pode ser

realizado por meio do monitoramento do tempo e do clima e de estudos específicos voltados a essa região economicamente dependente e afetada pelas mudanças do clima. A formação de alunos fomenta o crescimento de uma massa crítica de pesquisadores que poderão auxiliar no desenvolvimento socioeconômico e científico da região.

Agradecimentos

Os autores agradecem aos técnicos em meteorologia, Alexandre Germano e Tatiana Amaro, pelo apoio nas atividades didáticas e científicas; à Reitoria da UNIFEI pelo apoio às atividades científicas e acadêmicas; ao convênio COPASA-prefeitura de Itajubá-UNIFEI por ter possibilitado a aquisição de dados de precipitação entre 2011 e 2014; e, à CAPES, CNPq e FAPEMIG pelo apoio financeiro.

Referências

- Andreoli R. V., Oliveira, S. S., Kayano, M. T., Viegas, J., Souza, R. A. F., Candido, L. A., 2016. The influence of different El Niño types on the South American rainfall. *International Journal of Climatology*. doi: 10.1002/joc.4783, 2016. Disponível em: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/joc.4783/abstract>. Acesso: 12 jan. 2017.
- Assireu, A. T., Reboita, M. S., Corrêa, M. P., 2012. Observando o céu, quantificando as nuvens e praticando modelagem: um exercício de apoio ao aprendizado das Ciências Atmosféricas. *Revista Brasileira de Ensino de Física* 34, 1501-1-1501-6.
- Barbosa, A. A., Oliveira, G. M., Oliveira, T. J., 2015. Histórico de Enchentes em Itajubá/MG. *Revista Meio Ambiente e Sustentabilidade* 9, 125-140.
- Bernardes, C. B., Guimarães, I. F., Simões, J. B., Pereira, R. F. O., Siqueira, V., Reboita, M. S., 2014. Identificação dos Tipos de Nuvem e a Relação destes com os Sistemas Sinóticos Atuantes em Itajubá, Minas Gerais. In: I Seminário de Recursos Naturais, Sustentabilidade e Tecnologias Ambientais, 2014, Itajubá. I SRN, 2014.
- Campos, B., Carvalho, V. S. B., Reboita, M. S., 2016. Sistema numérico-operacional de previsão de tempo para a região Sul de Minas Gerais: comparação com dados observados. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 9, 1017-1029.
- Cardozo, A. B., Custódio, I. S., Reboita, M. S., Garcia, S. R., 2015. *Climatologia de Frentes*

- Frias na América do Sul e sua Relação com o Modo Anular Sul. *Revista Brasileira de Climatologia* 17, 9-29.
- Cavalcanti, I. F. A., 2016. Variabilidade interanual da precipitação no Sudeste do Brasil no período 1985-2014 e configurações de extremos. Edição comemorativa de 30 anos do Climanálise, 13-18.
- Coelho, C. A. S., Oliveira, C. P., Ambrizzi, T., Reboita, M. S., Carpenedo, C. B., Campos, J. L. P. S., Tomaziello, A. C. N., Pampuch, L. A., Custódio, M. S., Dutra, L. M. M., da Rocha, R. P., Renbein, A., 2015. The 2014 southeast Brazil austral summer drought: regional scale mechanisms and teleconnections. *Climate Dynamics*, doi 10.1007/s00382-015-2800-1. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00382-015-2800-1>. Acesso: 15 jan. 2017.
- Corrêa, M. P., Pires, L. C. M., 2013. Doses of erythema ultraviolet radiation observed in Brazil. *International Journal of Dermatology* 52, 966-973.
- EPAMIG. Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais, 2014. Minas Gerais responde por 50% da produção brasileira de café. Disponível: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/2336226/minas-gerais-responde-por-50-da-producao-brasileira-de-cafe>. Acesso: 22 jan. 2017.
- Escobar, G. C. J., 2014. Padrões de circulação em superfície e em 500 hPa na América do Sul e eventos de anomalias positivas de precipitação no Estado de Minas Gerais durante o mês de dezembro de 2011. *Revista Brasileira de Meteorologia* 29, 105-124.
- Ferreira, R., Reboita, M. S., Herdies, D. L., Beneti, C. A. A., 2016. Tendência dos índices de instabilidade na América do Sul. *Ciência e Natura* 38, 164-169.
- Furnas, s/d. Parque Gerador – Usina Hidrelétrica Furnas. Disponível em: http://www.furnas.com.br/hotsites/sistema-furnas/usina_hidr_furnas.asp. Acesso: 10 jan. 2017.
- IGAM. Instituto Mineiro de Gestão das Águas, 2010. Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Sapucaí: Resumo Executivo. Disponível em: http://www.igam.mg.gov.br/images/stories/planos_diretores_BH/sapucaí.pdf. Acesso: 13 jan. 2017.
- IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change, 2013. The Physical Science Basis. Summary for Policymakers. Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Disponível em: <http://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/>. Acesso: 12 jan. 2017.
- Marengo, J. A., Nobre, C. A., Seluchi, M. C., Cuartas, A., Alves, L. M., Mendonça, E. M., Obregón, G., Sampaio, G., 2015. A seca e a crise hídrica de 2014-2015 em São Paulo. *Revista USP* 106, 31-44.
- Mercedes, S. S. P., Rico, J. A. P., Pozzo, L. Y., 2015. Uma revisão histórica do planejamento do setor elétrico brasileiro. *Revista USP* 104, 13-36.
- Pappier, R. A., 1988. A review of static stability indices and related thermodynamic parameters. Climate and Meteorology Section, Illinois State Water Survey, Champaign, IL 61820. Disponível em: <http://www.isws.illinois.edu/pubdoc/mp/iswsm-p-104.pdf>. Acesso: 20 jan. 2017.
- Penna, A. C., 2013. Avaliação da Passagem de Frentes Frias na Região Sul de Minas Gerais com base nas Cartas Sinóticas do CPTEC/INPE e DHN. Monografia (Graduação). Itajubá, UNIFEI.
- Reboita, M. S., Assireu, A. T., Chilleli, L. S., Rios, N., 2014a. Evidências de Circulação de Brisa Vale-Montanha na Serra da Mantiqueira: Cidade de Itajubá MG. *Ciência e Natura* 36, 61-71.
- Reboita, M. S., Assireu, A. T., Riondet-Costa, D. R. T., 2016. Amigos do Clima: interação entre universidade e escolas públicas. In: XIX Congresso Brasileiro de Meteorologia, 07-11 de novembro, João Pessoa, PB.
- Reboita, M. S., da Rocha, R. P., Dias, C. G., Ynoue, R. Y., 2014. Climate Projections for South America: RegCM3 Driven by HadCM3 and ECHAM5. *Advances in Meteorology* 2014, 1-17, <http://dx.doi.org/10.1155/2014/376738>. Disponível em: <https://www.hindawi.com/journals/amete/2014/376738/ref/>. Acesso: 25 jan. 2017.
- Reboita, M. S., Escobar, G., Lopes, V., 2015b. Climatologia Sinótica de Eventos de Ondas de Frio sobre a Região Sul de Minas Gerais. *Revista Brasileira de Climatologia* 16, 72-92.
- Reboita, M. S., Gan, M. A., da Rocha, R. P., Ambrizzi, T., 2010. Regimes de Precipitação na América do Sul: Uma Revisão Bibliográfica. *Revista Brasileira de Meteorologia* 25, 185-204.
- Reboita, M. S., Marieto, D., Souza, A., Barbosa, M., 2017. Caracterização atmosférica quando da ocorrência de eventos extremos de chuva na região sul de Minas Gerais. Submetido para avaliação na *Revista Brasileira de Climatologia*.
- Reboita, M. S., Oliveira, D. M., Freitas, C. H., Oliveira, G. M., Pereira, R. A., 2015c. Anomalias dos Padrões Sinóticos da Atmosfera

- na América do Sul nos Meses de Janeiro de 2014 e 2015. *Revista Brasileira de Energias Renováveis* 4, 1-12.
- Reboita, M. S., Rodrigues, M., Silva, L. F., Alves, M. A., 2015a. Aspectos Climáticos do Estado de Minas Gerais. *Revista Brasileira de Climatologia* 17, 209-229.
- Reboita, M. S., Souza, D. C., Ramalho, V., 2013. Water Balance and Aridity Index in Itajubá. In: V Simpósio Internacional de Climatologia, 2013, Florianópolis. Interação Oceano-Atmosfera: Impactos Climáticos no Presente e Cenários Futuros.
- Sá Júnior, A., 2009. Aplicação da Classificação de Köppen para o Zoneamento Climático do Estado de Minas Gerais. Dissertação (Mestrado). Lavras, UFLA.
- Santos, T. C., 2016. Relação de variáveis atmosféricas com a qualidade do ar no estado de São Paulo. Dissertação (Mestrado). Itajubá, UNIFEI.
- Santos, L. F., Garcia, S. R., 2016. Início e Fim da Estação Chuvosa no Estado de Minas Gerais: Comparação de Duas Metodologias Diferentes. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 31, 92-104.
- SENAC Minas, 2017. Descubra Minas. Disponível em: <http://www.descubraminas.com.br/Turismo/>. Acesso: 10 jan. 2017.
- Silva, E. D., Reboita, M. S., 2014. Estudo da Precipitação no Estado de Minas Gerais - MG. *Revista Brasileira de Climatologia* 13, 120-136.
- Silva, J. P. R., 2016. Amigos do Clima: Estudo da Precipitação nas Cercanias do Rio Sapucaí. Relatório de Iniciação Científica, Universidade Federal de Itajubá.
- Silva Dias, M. A. F., 2014. Eventos Climáticos Extremos. *Revista USP* 103, 33-40.
- Silva, L. J., Reboita, M. S., Rocha, R. P., 2014. Relação da Passagem de Frentes Frias na Região Sul de Minas Gerais (RSMG) com a Precipitação e Eventos de Geadas. *Revista Brasileira de Climatologia* 14, 229-246.
- Silva, L. P., Reboita, M. S., Alves, M. A., 2017. Notificações de casos de dengue em Minas Gerais e sua relação com variáveis ambientais e socioeconômicas. Submetido para avaliação na revista da Unesp.
- Vianello, R. L., Maia, L. P. G., 1986. Estudo preliminar da climatologia dinâmica do Estado de Minas Gerais. *Revista Informe Agropecuário* 12, 6-8.
- Tibúrcio, L. H; Corrêa, M. P., 2012. Análise da vulnerabilidade da microrregião de Itajubá por meio do IVG com vistas à mitigação dos impactos causados pelas mudanças climáticas. *Ambiente & Sociedade* 15, 123-139.
- Yu J.-Y., Kim, S.T., 2013. Identifying the types of major El Niño events since 1870. *International Journal of Climatology* 33, 2105-2112.