



ESCOLA DE APERFEIÇOAMENTO DE OFICIAIS DA AERONÁUTICA  
COORDENADORIA ACADÊMICA  
CURSO DE APERFEIÇOAMENTO DE OFICIAIS 1/2020

**ALEXANDRE SANTOS DE SOUZA, CAP Esp Met**

**UTILIZAÇÃO DO MODELO CLIMÁTICO REGIONAL NO CENTRO DE  
LANÇAMENTO DE ALCÂNTARA**

Rio de Janeiro

2020

ESCOLA DE APERFEIÇOAMENTO DE OFICIAIS DA AERONÁUTICA  
COORDENADORIA ACADÊMICA  
CURSO DE APERFEIÇOAMENTO DE OFICIAIS 1/2020

**ALEXANDRE SANTOS DE SOUZA, Cap Esp Met**

**UTILIZAÇÃO DO MODELO CLIMÁTICO REGIONAL NO CENTRO DE  
LANÇAMENTO DE ALCÂNTARA**

Trabalho de conclusão de curso apresentado no Curso de Aperfeiçoamento de Oficiais da Aeronáutica como requisito parcial para aprovação no Curso de Pós-graduação em Gestão Pública com Ênfase em Processos e Projetos.

Área de Concentração: Emprego da Força Aérea.

Orientador: Carlos Eduardo José da Silva,  
Maj Esp Av

Rio de Janeiro  
2020

**ALEXANDRE SANTOS DE SOUZA, Cap Esp Met**

**UTILIZAÇÃO DO MODELO CLIMÁTICO REGIONAL NO CENTRO DE  
LANÇAMENTO DE ALCÂNTARA**

Trabalho de conclusão de curso apresentado  
no Curso de Aperfeiçoamento de Oficiais da  
Aeronáutica.

Aprovado por:

---

Wellington Marcelo Fernandes – Maj Inf  
EAOAR

---

Carlos Eduardo José da Silva – Maj Esp Av  
EAOAR

---

Professor MSc. André da Costa Gonçalves  
EAOAR

Rio de Janeiro  
Julho de 2020

## RESUMO

A grande dimensão geográfica e as imensas riquezas naturais do Brasil despertam interesses econômicos do mundo inteiro, impondo grandes desafios para a manutenção da soberania nacional. Desta forma, é de grande importância o desenvolvimento de soluções científico-tecnológicas que visem atender as demandas operacionais da Força Aérea Brasileira e contribuir para a consolidação da autonomia de acesso ao espaço. Neste contexto, defende-se que o Modelo Climático Regional (*Regional Climate Model* – RegCM) deve ser a principal ferramenta utilizada pela Força Aérea Brasileira (FAB) para realizar a previsão intrasazonal de clima em apoio ao planejamento de operações de lançamento de veículos aeroespaciais do Centro de Lançamento de Alcântara. A ideia defendida é fundamentada na metodologia atualizada utilizada pelo RegCM, que se baseia na técnica de redução de escala, oferecendo, deste modo, previsões climáticas mais detalhadas comparadas com as dos Modelos Climáticos Globais (RUMMUKAINEM, 2010). Um segundo pressuposto consiste em que o RegCM poderá ser utilizado operacionalmente com o intuito de oferecer um melhor apoio ao planejamento e, conseqüentemente, proporcionar maior segurança e economia às operações de lançamento (CORREA, 2017). Por fim, ressalta-se que os benefícios na utilização do RegCM pela Força Aérea Brasileira poderão favorecer novos ciclos de desenvolvimento, proporcionando dados importantes para as pesquisas acadêmicas e manutenção de um ambiente de evolução contínua. Deste modo, a Força Aérea Brasileira irá se beneficiar de previsões climáticas mais detalhadas e eficazes no apoio às operações de lançamentos.

**Palavras-chave:** Modelo Climático Regional. Previsão Climática. Operações de Lançamento. Desenvolvimento. Centro de Lançamento de Alcântara.

## 1 INTRODUÇÃO

O Brasil possui uma extensa dimensão geográfica com grandes e diversas riquezas naturais, as quais despertam interesses econômicos no mundo todo e impõem grandes desafios para a manutenção da soberania nacional. Diante deste cenário, encontramos na Força Aérea Brasileira (FAB) a visão de ser “uma força aérea de grande capacidade dissuasória, operacionalmente moderna e atuando de forma integrada para defesa dos interesses nacionais.” (PEMAER, 2018, p.11). Para tal, cabe ao Departamento de Ciência e Tecnologia Aeroespacial (DCTA), “o desenvolvimento de soluções científico-tecnológicas inovadoras, a fim de atender às demandas operacionais.” (PEMAER, 2018, p.16). Desta forma, é de grande importância que o país consolide a sua autonomia do acesso ao espaço e desponte mundialmente no cenário aeroespacial.

O Centro de Lançamento de Alcântara (CLA), subordinado ao DCTA, destaca-se internacionalmente por possuir vantagens em relação a outros centros de lançamento no mundo. Isto porque sua localização geográfica, próxima à linha do equador, possibilita uma redução significativa dos custos nas atividades espaciais (ANDRADE et. al., 2018), devido ao ganho de energia relativa à velocidade tangencial proporcionada pela rotação da Terra nesta região.

Outro fator favorável para as atividades no CLA consiste na região possuir condições climáticas regulares em seu regime de chuva e vento. Em geral, a climatologia indica um primeiro semestre mais chuvoso e com ventos mais fracos, e um segundo semestre mais seco e com ventos mais fortes (LAGE; OYAMA, 2004). Entretanto, é importante ressaltar que, apesar de existir uma regularidade na climatologia, por vezes, podem ocorrer anomalias.

Nos últimos anos, considerando os pontos já levantados, para o apoio ao planejamento das operações no CLA, foram utilizadas informações do Banco de Dados Climatológicos (BDC) e Boletins de Previsões Climáticas baseados em Modelos Climáticos Globais (MCG). No entanto, é possível observar e descrever as seguintes limitações nas informações utilizadas: o restrito uso de estatística pelo BDC; e a falta de detalhes na representação da região nos MCG. Assim, diante do desafio de melhorar a previsibilidade de lançamento, torna-se necessário acompanhar constantemente os avanços científicos e tecnológicos, além de buscar

melhorias nas previsões climáticas.

Nesta linha de pensamento, portanto, defende-se que o Modelo Climático Regional (*Regional Climate Model* – RegCM), deve ser a principal ferramenta a ser utilizada pela Força Aérea Brasileira (FAB) para a previsão intrasazonal de clima em apoio ao planejamento de operações de lançamento de veículos aeroespaciais a partir do CLA. Tal ideia defendida é fundamentada na utilização de metodologia atualizada pela RegCM, baseada na técnica de redução de escala, a qual fornece previsões climáticas mais detalhadas em comparação aos MCG (RUMMUKAINEM, 2010). Um segundo pressuposto consiste em que o RegCM poderá ser utilizado operacionalmente para um melhor apoio ao planejamento e, assim, proporcionar maior segurança e economia às operações de lançamento de veículos aeroespaciais no Centro de Lançamento de Alcântara (CORREA, 2017).

## **2 DESENVOLVIMENTO**

No âmbito do DCTA, meses antes de uma operação de lançamento, são realizadas reuniões de planejamento com integrantes das Organizações Militares envolvidas, como o Instituto de Aeronáutica e Espaço (IAE) e o CLA. Tais reuniões objetivam discutir os aspectos técnicos das operações, como a logística de transporte, a montagem do foguete e a segurança da operação. É neste contexto de planejamento que a climatologia se destaca, assumindo um importante papel (CARUZZO et al., 2014).

Uma das divisões do IAE, a Divisão de Ciências Atmosféricas (ACA), possui uma função primordial nas operações do CLA: desenvolver pesquisas em Meteorologia Aeroespacial com o objetivo de apoiar as operações de lançamento (QUEIROZ, 2015). Sabendo que, para esse apoio, o conhecimento da climatologia da região é muito importante, equipamentos de coleta de dados meteorológicos de superfície e altitude fornecem dados que passam a ser climatológicos no longo prazo quando armazenados de forma adequada. Com a finalidade de servir de base para estudos climatológicos na região do CLA, foi criado, então, o BDC/ACA, que possibilita a confecção de sumários e relatórios climatológicos, além de proporcionar, como efeito, um melhor apoio no planejamento dos lançamentos.

Os dados climatológicos referem-se a acontecimentos passados, porém, em muitas vezes, a estatística climatológica é utilizada para inferir o futuro, já que “uma

das aplicações da climatologia é a previsão de longo alcance, pautada em uma análise estatística sistemática do comportamento passado do clima” (YOSHINO, 1980, *apud*, SILVESTRE 2016, p. 29). Entretanto, ressalta-se que ela não exclui as técnicas de previsão, já que podem ser utilizadas de base para estudos climáticos e, em especial, para a validação de modelos de previsão, tanto de tempo, quanto de clima. Nesta validação, são comparados os resultados de simulações com os registros climatológicos, corroborando para a aprovação da destreza dos modelos, como afirma Aravéquia (2003, p. 42) em: “os métodos de interpretações estatísticas possibilitam a correção dos modelos numéricos e permitem fazer previsões para a localização das estações meteorológicas”.

Seguindo essa linha de pensamento, Pereira et al. (2002), também contribuíram para o conhecimento das características climáticas do CLA ao elaborarem, a partir das informações do BDC/ACA, o Atlas Climatológico de Alcântara, ainda utilizado como referência sobre o clima na região. De modo mais aprofundado, Lage e Oyama (2004) identificaram que no CLA o primeiro semestre é mais chuvoso com ventos mais fracos e o segundo semestre, mais seco com ventos mais fortes. Apesar de, como já citado, a climatologia indicar certa regularidade climática, por vezes, podem ocorrer anomalias, como o atraso da estação chuvosa ocorrido em março de 2010 (PINHEIRO, 2013) e o evento de chuva forte ocorrido em plena estação seca em outubro de 2011 (COSTA, 2018).

Outra fonte de informação consiste nas previsões de consenso dos principais centros de previsão climática do Brasil, como o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC), e outros órgãos regionais de meteorologia (REBOITA et al., 2018). Para apoiar o planejamento, o meteorologista utiliza tais informações de consenso para o início de seu trabalho, mas, como elas representam grandes áreas e possuem caráter genérico, ainda são necessárias informações mais precisas sobre a região do CLA.

Assim, pode-se dizer que a atividade de planejamento das operações de lançamento, inicialmente, leva em consideração a climatologia e previsões climatológicas de consenso, embora tal atividade ainda demande previsões mais precisas que fortaleçam a tomada de decisão. Deste modo, surge a necessidade de se utilizar modelos climáticos regionais capazes de fornecer as previsões mais detalhadas demandadas.

## 2.1 O modelo RegCM proporciona previsões climáticas mais detalhadas

Modelos Climáticos Globais (MCG) são amplamente utilizados para previsões de grande escala de espaço e tempo, sua resolução horizontal é na ordem de 200 km (CHOU; NOBRE, 2008) e suas previsões podem cobrir meses, anos ou até mesmo décadas. Para tal, é necessário um grande desempenho computacional e de alto custo, visto que seus cálculos representam as características climáticas em larga escala para todo o planeta, como a circulação geral da atmosfera e dos oceanos (RUMMUKAINEN, 2010). No entanto, como não há à disposição regional um computador com tal desempenho, a grade atualmente gerada é de baixa resolução. Isto acaba não fornecendo uma visão regional detalhada, o que, para atividades específicas, como lançamento de foguetes, seria de suma importância.

Apesar dos Modelos Climáticos Regionais (MCR) usufruírem das condições iniciais e de contorno proveniente dos MCG (CHOW, NOBRE, 2008, p. 280), sua utilização proporciona grande vantagem, uma vez que os MCR detêm uma grade horizontal menor — na ordem de 50 km —, possuindo, assim, maior resolução espacial. Deste modo, adicionam muito mais detalhes às previsões, além de demonstrarem um custo computacional muito menor em comparação com os MCG. Neste contexto, um dos MCR que tem apresentado bom desempenho nas simulações climáticas intrasazonais na América do Sul é o Modelo Climático Regional (RegCM).

O RegCM apresenta uma metodologia atualizada com a técnica de redução de escala conhecida como “downscaling”, que possui como objetivo obter detalhes regionais ou locais a partir de observações esparsas ou de simulações numéricas de baixa resolução (RUMMUKAINEN, 2010). Suas simulações numéricas, baseadas em características dinâmicas da atmosfera, apresentam um diferencial positivo quando comparadas com a climatologia, que possui forte base estatística, e com os MCG, que possuem grade espacial de menor resolução e menos informações de cobertura vegetal e relevo. Dessa forma o RegCM proporciona previsões climáticas intrasazonais mais detalhadas, como escreve Rummukainen:

Modelos climáticos regionais adicionam mais detalhes às simulações globais do clima, permitindo estudo dos processos climáticos com mais detalhes do que os modelos globais permitem. (RUMMUKAINEN, 2010, p.82).

## **2.2 Utilização operacional do Modelo RegCM para maior segurança e economia das operações de lançamento**

As condições climáticas podem afetar a segurança das operações de lançamento, por isso, saber a previsão de elementos climáticos detalhadamente pode auxiliar na tomada de decisão quanto a melhor oportunidade para a execução dessas operações. A ocorrência de chuva, coloca em risco a segurança na preparação e o lançamento de foguetes que não são impermeáveis (MARQUES; FISCH, 2005), além de que ventos fortes também podem afetar a segurança na trajetória dos foguetes, como Roballo e Fisch escrevem:

Os foguetes são projetados e construídos para suportarem uma determinada carga pela ação do vento, além do fato de que a sua trajetória, controle e guiagem são determinados pelo perfil do vento próximo à superfície (Roballo; Fisch, 2008, p. 511).

Conhecer a previsão climática detalhada para determinados parâmetros, como chuva e vento, também favorece o aspecto econômico, uma vez que a logística para deslocamento dos equipamentos e pessoal técnico envolvidos nas operações de lançamento demandam custos consideráveis. Para melhorar esse apoio ao planejamento das operações de lançamento, torna-se, portanto, necessário aprimorar os modelos climáticos regionais, destacando que novas as versões do modelo RegCM têm sido utilizadas com sucesso nos últimos anos. Neste aspecto, Correa, em um primeiro trabalho (2019), relatou o bom desempenho do modelo RegCM em relação a previsão de vento e temperatura para a região nordeste do Brasil. Já em um segundo trabalho (2017), Correa et al. identificaram grande potencial para a previsão intrasazonal do perfil vertical do vento para a região do Centro de Lançamento de Alcântara.

A ACA possui um projeto de pesquisa em MCR, o qual estuda a precipitação e o perfil vertical médio do vento em escalas temporais de 3 a 6 meses (intrasazonal), com as grades do modelo climático centradas no CLA, isto porque visa aumentar o conhecimento técnico-científico sobre a atmosfera da região. Este projeto busca as melhores configurações e condições de inicialização, permitindo estimativas de precipitação e perfil vertical médio do vento mais seguras para as áreas próximas da superfície na área do Setor de Preparação e Lançamento (SPL) no CLA. Neste sentido, as previsões do RegCM poderão ser comparadas com

dados observados obtidos através dos equipamentos de meteorologia instalados no CLA e disponíveis no BDC, que, em estudos preliminares, já demonstraram uma boa destreza do modelo.

Diante das informações apresentadas acerca do bom desempenho do RegCM em relação à previsão climática intrasazonal e às iniciativas de operacionalização do modelo — especialmente para o nordeste brasileiro —, percebe-se que há grande vantagem em sua utilização, devido aos detalhes fornecidos da região do CLA. Sabendo disto, pode-se observar outras vantagens, como a possibilidade de se proporcionar uma boa um planejamento e, conseqüentemente, maior segurança e economia para a realização das operações de lançamento dos foguetes.

### **3 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Diante do objetivo da Força Aérea Brasileira em ser “uma força aérea de grande capacidade dissuasória, operacionalmente moderna e atuando de forma integrada para defesa dos interesses nacionais”, cabe ao DCTA, por meio do IAE e do CLA, proporcionar os meios e as tecnologias para que o Brasil domine cada vez mais lançamentos de veículos aeroespaciais. Neste sentido, é de suma importância que se busque a atualização tecnológica na previsão climática com o intuito de oferecer um melhor apoio ao planejamento das operações de lançamento de foguetes.

O Modelo Climático Regional (*Regional Climate Model* – RegCM), seguindo essa linha, deve ser a principal ferramenta utilizada pela FAB para que seja realizada a previsão intrasazonal de clima. Isto porque o RegCM utiliza uma metodologia atualizada, baseada na técnica de redução de escala, que oferece previsões climáticas mais detalhadas. Desta forma, pode ser utilizado operacionalmente para um melhor apoio ao planejamento e, assim, proporcionar maior segurança e economia às operações de lançamento.

Por fim, ressalta-se que os benefícios na utilização do RegCM pela Força Aérea Brasileira poderão favorecer novos ciclos de desenvolvimento, proporcionando dados importantes para as pesquisas acadêmicas e manutenção de um ambiente de evolução contínua. Assim, a FAB se beneficiará de previsões climáticas mais detalhadas e eficazes no apoio às operações de lançamentos.

## REFERÊNCIAS

- ANDRADE, I. O.; CRUZ, R. L. V.; HILLEBRAND, G. R. L.; SOARES, M. A. O Centro de Lançamento de Alcântara: Abertura para o mercado internacional de satélites e salvaguardas para soberania nacional, **Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada**, 2018, Rio de Janeiro, p. 19, out. 2018. Disponível em: [http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/8897/1/td\\_2423.pdf](http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/8897/1/td_2423.pdf). Acesso em: 14 out. 2019.
- ARAVÉQUIA, J. A.; QUADRO, M. F. L. **Aspectos Gerais da Previsão Numérica de Tempo e Clima**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, p. 42, 2003. Disponível em: [http://mtc-m16d.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-19/2012/01.04.16.25/doc/PBMC-VOLUME1-RAN1\\_8.pdf](http://mtc-m16d.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-19/2012/01.04.16.25/doc/PBMC-VOLUME1-RAN1_8.pdf). Acesso em: 23 set. 2019.
- BRASIL. **Plano Estratégico Militar da Aeronáutica 2018-2027: PCA 11-47**. Brasília, DF, p. 11-16, 2018.
- CARUZZO, M.; BELDERRAINET, M. C. N.; FISCH, G. Mapeamento parcial da meteorologia nas operações de lançamentos de foguetes utilizando um Método de Estruturação de Problemas, **XVI Simpósio de Aplicações Operacionais em Áreas de Defesa**, São José dos Campos, p. 154, 2014.
- CORREA, C. S. Intraseasonal Ensemble Forecasting for the Brazilian Northeastern. **Ciência e Natura**, Santa Maria, v.41, e10, p.01-08, jul. 2019. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/cienciaenatura/article/view/35807/html>. Acesso em: 8 out. 2019.
- CORREA, C. S.; CAMILLO, G. L.; COUTO, V. M.; FISCH, G.; CORREA, F. N.; HARTER, F. Climate Forecasts at the Centro de Lançamento de Alcântara Using the Climate Model RegCM4. **Journal of Aerospace Technology and Management**, São José dos Campos, Vol.9, N° 1, p. 18-28, Jan.-Mar. 2017. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/jatm/v9n1/2175-9146-jatm-09-01-0018.pdf>. Acesso em: 8 out. 2019.
- COSTA, P. C. S, **Precipitação no trimestre seco no Centro de Lançamento de Alcântara**: caracterização observacional e estudo de caso. 2018. Dissertação (Mestrado em Meteorologia), – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, SP, p. 39, 2018.
- CHOU, S. C. NOBRE, P. **Avaliação de Modelos Globais e Regionais Climáticos**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. São José dos Campos, p. 280-331, 2011.
- LAGE, R. OYAMA, M. D. Aspectos observacionais das oscilações intrasazonais de intensidade do vento em Alcântara usando ondeletas: análise preliminar. **XIII Congresso Brasileiro de Meteorologia**, Fortaleza, p. 3, 2004. Disponível em: <http://cbmet.org.br/index.php>. Acesso em: 14 out. 2019.

MARQUES, R.F.C.; FISCH, G.F. As atividades de meteorologia aeroespacial no Centro Técnico Aeroespacial (CTA). **Boletim da Sociedade Brasileira de Meteorologia**, v.29, n.3, p.21-25, 2005.

PALMERIO, A. F. **Introdução à Tecnologia de Foguetes**, São José dos Campos-SP, Ed. SindCT, p. 17, 2016.

PEREIRA, E.I.; MIRANDA, I.; FISCH, G.F.; MACHADO, L.A.T.; ALVES, M.A.S. **Atlas climatológico do Centro de Lançamento de Alcântara**. São José dos Campos: Centro Técnico Aeroespacial, 2002. Relatório de desenvolvimento, ACA/RT-01/01, GDO-000000/B0047.

PINHEIRO, U. A. **Estação chuvosa na Região do Centro de Lançamento de Alcântara**. 2018. Dissertação (Mestrado em Meteorologia), – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, SP, p. 3, 2013.

QUEIROZ, A. P.; CORRÊA, C. S. Meteorologia Aeroespacial no Instituto de Aeronáutica e Espaço (IAE), *In: V Fórum de Pesquisa e Inovação do CLBI*, Natal, **Anais [...]**. Natal, CLBI 2015.

REBOITA, M. S.; DIAS C. G.; DUTRA L. M. M.; ROCHA R. P.; LLOPART M. Previsão Climática Sazonal para o Brasil Obtida Através de Modelos Climáticos Globais e Regional. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos, v. 33, n. 2, p. 207-224, 2018.

ROBALLO, S.; FISCH, G. Escoamento Atmosférico no Centro de Lançamento de Alcântara (CLA): Parte I – Aspectos Observacionais, **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos, v.23, n.4, p. 511, 2008.

RUMMUKAINEN, M. State-of-the-art with regional climate models, **WIRES Climate Change**. Vol. 1, p.82, Jan-Feb. 2010. Disponível em:

[http://danida.vnu.edu.vn/cpis/files/Papers\\_on\\_CC/CC/State-of-the-art%20with%20regional%20climate%20models.pdf](http://danida.vnu.edu.vn/cpis/files/Papers_on_CC/CC/State-of-the-art%20with%20regional%20climate%20models.pdf). Acesso em: 14 out. 2019.

SILVESTRE, M. R. **Técnicas Estatísticas Utilizadas em Climatologia Geográfica: Diagnósticos e Propostas**. Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciência e Tecnologia, Presidente Prudente, p. 29, 2016.