



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

Papel dos parâmetros de superfície terrestre nas previsões regionais de tempo do CPTEC/INPE

Felipe Abrahão Mantovani

Relatório de Iniciação Científica do
programa PIBIC, orientado pelo Dr.
Luís Gustavo Gonçalves de Gonçalves

INPE
São José dos Campos/ SP
2020



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

Papel dos parâmetros de superfície terrestre nas previsões regionais de tempo do CPTEC/INPE

Felipe Abrahão Mantovani

Relatório de Iniciação Científica do
programa PIBIC, orientado pelo Dr.
Luís Gustavo Gonçalves de Gonçalves

RESUMO

Esse trabalho, iniciado em agosto de 2019, tem como objetivo a verificação das simulações de umidade do solo obtidas a partir do Sistema de Assimilação de Dados de Superfície Terrestre da América do Sul (SALDAS - South American Land Data Assimilation System) em preparação das condições de superfície para uso nas previsões regionais do CPTEC/INPE. Devido à ausência de uma rede significativa de observações in-situ de umidade do solo sobre o continente americano, este trabalho se propõe a comparar índices de severidade de secas derivados das simulações de umidade do solo com os eventos descritos na literatura. A linha do tempo utilizada para o trabalho se inicia em janeiro de 2000 e termina em dezembro de 2018. As simulações do SALDAS resultaram em mapas mensais sobre toda a região da América do Sul em 4 níveis de profundidade do solo. Foram calculados os percentis de umidade do solo e a comparação detalhada realizada utilizando diversos papers selecionados, relacionados a observações e análise de diferentes fenômenos de seca que ocorreram pela América do Sul no período de tempo utilizado no trabalho. Por fim foram calculadas a duração, a intensidade da seca e as regiões atingidas. Os resultados mostram que foi possível caracterizar as secas de maior impacto nas cinco regiões brasileiras entre 2000 e 2018, como por exemplo, as maiores secas já registradas na região amazônica nos últimos 50 anos, ocorridas em 2005, 2010 e 2016, além das secas de grande impacto que correram na região nordeste entre 2010 e 2016 e na região sudeste entre 2013 e 2015, que afetou o drasticamente o Cantareira, maior reservatório de água da região de São Paulo. Com esses resultados foi possível detalhar informações de grande importância para futuros estudos e previsões climáticas, além de esclarecer os impactos de diversas secas no clima e solo da região por períodos além dos identificados por análises utilizando apenas precipitação, por considerar neste estudo, análises dos níveis mais profundos de solo.

LISTA DE FIGURAS

	Página
2.1. Exemplo de resultados obtidos pelo SALDAS realizadas através de diferentes características climáticas.	11
2.2. Modelo esquemático representando o funcionamento do modelo de superfície terrestre Noah, considerando suas forçantes de entrada e saída	12
3.1. Resultado obtido pelo SALDAS referente a América do Sul durante o mês de julho de 2005 no nível de solo 1. Fonte: De Golcalves, L. (2020)	17
3.2. Resultado obtido pelo SALDAS referente a América do Sul durante o mês de agosto de 2005 no nível de solo 1. Fonte: De Golcalves, L. (2020)	17
3.4. Resultado obtido pelo SALDAS referente a América do Sul durante o mês de setembro de 2005 no nível de solo 1. Fonte: De Golcalves, L. (2020)	17
3.5. Resultado obtido pelo SALDAS referente a América do Sul durante o mês de outubro de 2005 no nível de solo 1. Fonte: De Golcalves, L. (2020)	19
3.6. Resultado obtido pelo SALDAS referente a América do Sul durante o mês de agosto de 2010 no nível de solo 1. Fonte: De Golcalves, L. (2020)	19
3.7. Resultado obtido pelo SALDAS referente a América do Sul durante o mês de dezembro de 2010 no nível de solo 1. Fonte: De Golcalves, L. (2020)	19
3.8. Resultado obtido pelo SALDAS referente a América do Sul durante o mês de setembro de 2015 no nível de solo 1. Fonte: De Golcalves, L. (2020)	20
3.9. Resultado obtido pelo SALDAS referente a América do Sul durante o mês de dezembro de 2015 no nível de solo 1. Fonte: De Golcalves, L. (2020)	20
3.10. Resultado obtido pelo SALDAS referente a América do Sul durante o mês de setembro de 2012 no nível de solo 1. Fonte: De Golcalves, L. (2020)	22
3.11. Resultado obtido pelo SALDAS referente a América do Sul durante o mês de outubro de 2012 no nível de solo 1. Fonte: De Golcalves, L. (2020)	22
3.12. Resultado obtido pelo SALDAS referente a América do Sul durante o mês de janeiro de 2013 no nível de solo 4. Fonte: De Golcalves, L. (2020)	22
3.13. Resultado obtido pelo SALDAS referente a América do Sul durante o mês de dezembro de 2012 no nível de solo 4. Fonte: De Golcalves, L. (2020)	22
3.14. Resultado obtido pelo SALDAS referente a região sudeste do Brasil durante o mês de agosto de 2014 no nível de solo 1. Fonte: De Golcalves, L. (2020)	26

	Página
3.15. Resultado obtido pelo SALDAS referente a região sudeste do Brasil durante o mês de setembro de 2014 no nível de solo 1. Fonte: De Golcalves, L. (2020)	26
3.16. Resultado obtido pelo SALDAS referente a região sudeste do Brasil durante o mês de agosto de 2014 no nível de solo 4. Fonte: De Golcalves, L. (2020)	26
3.17. Resultado obtido pelo SALDAS referente a região sudeste do Brasil durante o mês de setembro de 2014 no nível de solo 4. Fonte: De Golcalves, L. (2020)	26
3.18. Resultado obtido pelo SALDAS referente a região sul do Brasil durante o mês de dezembro de 2011 no nível de solo 1. Fonte: De Golcalves, L. (2020)	28
3.19. Resultado obtido pelo SALDAS referente a região sul do Brasil durante o mês de novembro de 2011 no nível de solo 1. Fonte: De Golcalves, L. (2020)	28
3.20. Resultado obtido pelo SALDAS referente a região sul do Brasil durante o mês de junho de 2012 no nível de solo 1. Fonte: De Golcalves, L. (2020)	28
3.21. Resultado obtido pelo SALDAS referente a região sul do Brasil durante o mês de junho de 2012 no nível de solo 4. Fonte: De Golcalves, L. (2020)	28

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	8
	1.1 Objetivo Geral.....	9
	1.2 Objetivos Específicos.....	9
2.	DADOS E METODOLOGIA.....	10
	2.1.O Sistema de Assimilação de Dados de Superfície da América do Sul (SALDAS).....	11
	2.1.1. O modelo de superfície Noah.....	12
	2.1.2. Forçantes Atmosféricas.....	13
	2.2. Estimativa de seca por umidade do solo (percentil).....	13
	2.3. Estimativa de seca por precipitação (SPI).....	14
3.	RESULTADOS.....	15
	3.1. Região da Amazônia 2005.....	15
	3.2. Região da Amazônia 2010.....	18
	3.3. Região da Amazônia 2015.....	19
	3.4. Região Nordeste 2012 a 2016.....	20
	3.5. Região de São Paulo 2012 a 2016.....	23
	3.6. Região Sul 2011 a 2013.....	26
4.	CONCLUSÕES.....	29
5.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	30

1. INTRODUÇÃO

A seca é descrita como um fenômeno climático causado pela insuficiência pluviométrica numa determinada região por um longo período de tempo. A todo momento esse fenômeno é registrado em diferentes regiões, com diferentes intensidades e diferentes durações. Essas distinções ocorrem por diversos fatores, incluindo as variações da biodiversidade, tipos de solo e regiões climáticas. Atualmente é possível encontrar uma grande variedade de artigos científicos, de diferentes pesquisadores, no quais são descritos episódios de seca, de elevados níveis, por toda a América do Sul, principalmente no Brasil, país que mais registra períodos de seca intensa no continente. No entanto, as informações de secas intensas descritas pelos pesquisadores são majoritariamente retiradas de observações, o que pode não ser tão preciso em alguns casos. Essa afirmação ocorre pois os dados observados, mesmo sendo considerados os mais eficientes, por tratarem de informações reais, visualizadas e relatadas, são capazes de fornecer somente informações superficiais de solo, ou seja, os dados observados não conseguem relatar informações de seca abaixo da superfície. A princípio esses dados são considerados eficientes, entretanto, por conta de todos os fatores que envolvem esse fenômeno, em regiões diferentes, secas que se iniciam com aparentemente a mesma intensidade e área de atuação, reagem de maneira diferente, resultando em durações diferentes e em muitos casos, intensidades diferentes com o passar do tempo. Uma comparação facilmente observada está entre uma seca que ocorre na região Amazônica frente a uma seca que ocorre na região Nordeste do Brasil. A região norte brasileira, mais especificamente a região Amazônica, é formada por uma vasta floresta tropical e inúmeras bacias hídricas, sendo uma região muito úmida, por isso a região conta com uma imensa fonte de água subterrânea, desse modo, um período de seca, mesmo que intenso é rapidamente recuperado pelo solo úmido, reduzindo assim o prolongamento da seca e seus impactos no meio ambiente e na população. Em contrapartida, a região nordeste, é uma região extremamente seca, composta basicamente pela caatinga, e possui uma mínima concentração de água subterrânea, logo a única fonte de água que abastece o solo e a vegetação vem das chuvas, por isso uma seca intensa nesta região

traz impactos devastadores. Além disso, pela chuva ser a única fonte de água, em épocas de seca não há como hidratar o solo e quando as chuvas retornam na região, é necessário um período de tempo consideravelmente maior para que essa água chegue ao subterrâneo, em comparação a região amazônica. Desse modo, para aumentar a precisão de coleta de resultados e assim aumentar a capacidade de estimar ainda mais os danos causados pela seca, é preciso identificar as secas, não somente na região superficial, mas também nas regiões mais profundas da superfície. Estas informações da evolução da seca do ponto de vista das diferentes profundidades de solo é também de crítica importância para o planejamento agrícola e hídrico. O sistema responsável por gerar os resultados de seca, utilizado atualmente pelo INPE, se baseia somente em dados de precipitação para estimar a seca, motivando a proposição de uma metodologia que utilize também as informações de conteúdo de água no solo.

1.1. Objetivo Geral

Estimar os períodos de secas mais intensos na América do Sul entre os anos de 2000 e 2019 utilizando uma ferramenta cujo modelo utiliza informações diferentes daquelas casualmente utilizadas pelo CPTEC/INPE para o estudo das secas na região. Além de comparar os dados observados durante o trabalho com os dados registrados pelo próprio CPTEC/INPE, em conjunto a comparações entre os mesmos dados observados e informações advindas da literatura, artigos científicos e pesquisas relacionadas às secas na América do Sul no mesmo intervalo de tempo, para que ao final do trabalho se possa verificar a veracidade dos dados obtidos frente aos dados já registrados.

1.2. Objetivos Específicos

Utilizar o Sistema de Assimilação de Dados de Superfície da América do Sul (SALDAS - South American Land Data Assimilation System), de Gonçalves et. al.

(2006), para obter informações de seca por toda a região da América do Sul entre 2000 e 2019 em quatro níveis de profundidade de solo, para que seja possível captar informações sobre duração e intensidade das secas nas diferentes regiões, que dificilmente são registradas através das análises observacionais.

Comparar os dados registrados pelo SALDAS, advindos de informações de umidade de solo, com os dados registrados pelo SPI, advindos de informações de precipitação.

Comparar os dados obtidos pelo SALDAS com as informações sobre secas na América do Sul registradas em diversos papers e artigos científicos (informações obtidas majoritariamente por dados observados).

Verificar a veracidade e eficiência do SALDAS para registro de secas, para que seja possível, em caso resultados positivos, a utilização desta ferramenta para diversas outras funcionalidades.

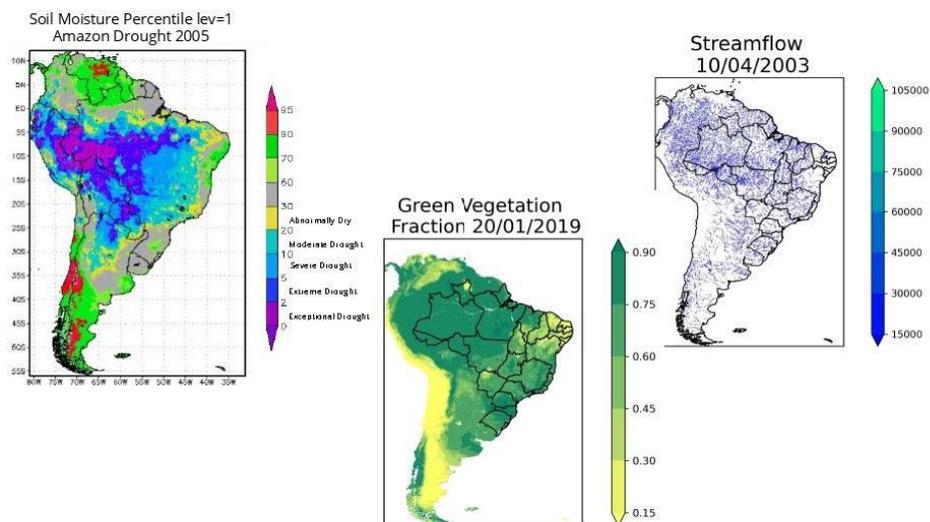
2. DADOS E METODOLOGIA

O trabalho se baseia na utilização do SALDAS para gerar as informações de seca na América do Sul entre os anos de 2000 e 2019 a partir de simulações numéricas de umidade do solo em quatro profundidades. Após a análise dos dados obtidos foi realizada uma comparação entre eles e os dados fornecidos pelo sistema de monitoramento de secas do CPTEC/ INPE (SPI), baseado em observações de precipitação a partir da rede pluviométrica. Em seguida foi realizada uma segunda comparação de dados, entre os resultados do SALDAS e uma coletânea de artigos científicos relatando secas intensas ocorridas na América do Sul durante o período estudado.

2.1. SALDAS

O SALDAS (South America Land Data Assimilation System) é um sistema de assimilação de dados de superfície terrestre responsável por fornecer a resposta da superfície às condições ambientais como umidade e temperatura do solo, fluxos de calor, albedo, estado da vegetação, etc. sobre a América do Sul. Para o presente trabalho, o SALDAS foi utilizado para fornecer informações de umidade de solo sobre todo o continente para um período de vinte anos. O funcionamento dessa ferramenta baseia-se na utilização de um modelo de superfície terrestre responsável por simular os fluxos e estados de superfície de acordo com as forçantes climáticas e parâmetros de solo e vegetação, contribuindo para uma determinação mais realística do fenômeno da seca nas diferentes regiões do Brasil e América do Sul. A figura abaixo ilustra exemplos de saídas do SALDAS (umidade do solo e vazão de rios) assim como um dos vários parâmetros utilizados (fração de área verde).

Figura 2.1. Modelos de resultados SALDAS



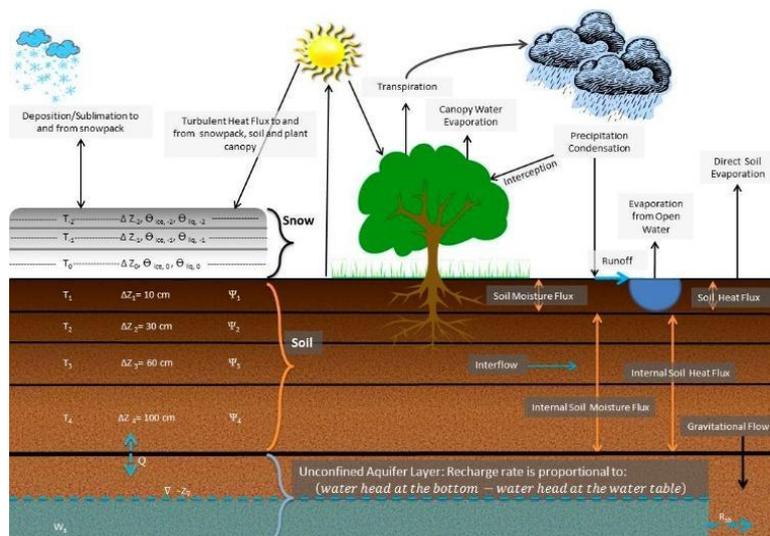
Fonte: De Gonçalves, G. (2018)

2.1.1. O modelo de superfície terrestre Noah

O modelo de superfície terrestre utilizado em conjunto com o SALDAS para fornecer os dados de umidade de solo para este estudo é o Noah-MP do NCEP (National Centers for Environmental Prediction) versão 3.6.

Noah-MP é um modelo de superfície terrestre (LSM) que usa várias opções para processos-chave de interação terra-atmosfera (Niu et al., 2011). O Noah-MP contém uma completa base de informações de vegetação separado definido por uma parte superior e inferior do dossel, raio da copa e folhas com dimensões, orientação, densidade e propriedades radiométricas prescritas. As informações incluem uma abordagem de transferência de radiação de dois fluxos, juntamente com os efeitos de sombreamento necessários para alcançar processos de transferência de água e energia de superfície adequados, incluindo processos de neve sob o dossel. Os processos incluídos no modelo Noah-MP são representados na figura abaixo incluindo as 4 diferentes profundidades de solo utilizadas neste estudo além das diferentes interações entre solo-vegetação-atmosfera.

Figura 2.2. Esquemático modelo Noah-MP



Fonte: Jackson School of Geosciences (2020)

2.1.2 Forçantes

Os dados de forçantes SALDAS são derivados da combinação de campos calculados do modelo e observações para produzir os campos atmosféricos distribuídos necessários para a modelagem da superfície da terra em todo o continente da América do Sul.

Desta forma são utilizados os campos gerados pelo sistema de assimilação de dados do modelo numérico operacional do National Centers for Environmental Prediction (NCEP), centro de previsão da NOAA/EUA. As variáveis necessárias para rodar o modelo de superfície terrestre Noah são: temperatura e umidade do ar em 2 metros, vento em 10 metros, pressão à superfície, precipitação e radiação de onda longa e onda curta incidentes à superfície.

Devido à grande sensibilidade da biosfera às variáveis de precipitação e radiação de onda curta, o SALDAS utiliza como forçante, os produtos do CPTEC/INPE de precipitação (MERGE - Rozante et al.,2010) e radiação solar incidente (GL - Ceballos et al. 2004)

2.2 Percentil de umidade do solo

O percentil de umidade do solo tem sido utilizado por vários estudos para determinar os padrões espaciais e temporais de seca. É uma estatística importante pois permite identificar períodos com maior severidade ou não da seca em vários níveis de solo. Dependendo da profundidade do solo, os resultados podem representar uma resiliência maior ou menor do evento de seca, e seus impactos em atividades como agricultura, onde o conhecimento das condições de umidade de camadas mais profundas de solo são críticos para a tomada de decisão.

O percentil pode ser definido como a medida que divide a amostra em 100 partes seguindo a ordem crescente dos dados. Cada parte possui uma porcentagem

aproximadamente igual dos dados. O p-ésimo percentil corresponde à frequência cumulativa do número total da população N vezes p dividido por 100 ($N \times p/100$). Neste estudo, seguindo a literatura o estado de seca é considerado para percentis de umidade do solo abaixo de 30 (Hao et al., 2016)

2.3 SPI

O Standard Precipitation Index (SPI), é o Índice de Precipitação Padronizado, pela tradução do inglês. Este índice é comumente utilizado para o monitoramento de condições associadas a secas e excesso de chuva. O SPI foi desenvolvido por McKee et al. (1993), e é baseado somente no produto de precipitação mensal, neste caso, produzido pelo CPTEC/INPE, a partir de dados provenientes de diversas fontes de dados do Brasil. A principal característica do SPI é a possibilidade de utilizá-lo no monitoramento tanto de condições úmidas como secas em diversas escalas de tempo. Esta flexibilidade temporal possibilita utilizar o SPI em várias aplicações.

De acordo com informações do INPE, O CPTEC/INPE utiliza os dados de precipitação em ponto de grade acumulados mensalmente para calcular o SPI, para diferentes escalas de intensidade. O SPI foi descrito pela primeira vez por McKee et al. (1993) e é calculado por meio da normalização da precipitação mensal a partir de uma função de distribuição de probabilidade. O procedimento para o cálculo do SPI inicia totalizando-se os registros de precipitação em uma dada escala de tempo. A série temporal dos totais de precipitação é ajustada a uma função de distribuição de probabilidade, a qual é transformada em uma função normal de distribuição de probabilidade, de modo que o valor médio do SPI para o local e período desejado seja zero. Valores positivos e negativos de SPI indicam, respectivamente, valores maiores e menores do que a mediana da precipitação.

3. RESULTADOS

Foram analisados os dados mensais de umidade de solo fornecido pelo SALDAS por todo o período compreendido entre 2000 e 2019 pela América do Sul, com ênfase na região do Brasil. Em seguida foram realizadas análises detalhadas sobre as principais secas que ocorreram no período e região determinados. Para a seleção das principais secas foram utilizados critérios referentes à intensidade, duração e área afetada, considerando os quatro níveis de profundidade de solo registrados pelo SALDAS.

Para a análise dos resultados a escala de padrões de seca está associada ao nível de severidade proposto pelo United State Drought Monitor (USDM). O U.S. Drought Monitor é um mapa atualizado semanalmente, mostrando partes dos EUA que estão em seca. O mapa usa cinco classificações: anormalmente seco (21 a 30), mostrando áreas que podem estar entrando ou saindo da seca, e quatro níveis de seca: moderado (11 a 20), severo (6 a 10), extremo (3 a 5) e excepcional (0 a 2).

3.1. REGIÃO AMAZÔNICA - 2005

Em 2005 a região norte passou por uma longa e severa seca, mais precisamente na região Amazônica. “Mais de 70 milhões de hectares da floresta Amazônica sofreram uma enorme falta de água durante o período de seca que ocorreu em 2005 o que causou imediata redução da umidade e estrutura de cobertura das florestas” (Saatchi, et al, 2012). De acordo com SALDAS, a região Amazônica sofreu, entre julho e outubro de 2005, uma seca extrema por quase toda a região, este período de seca foi um dos mais intensos e impactantes já presenciado pela região norte em mais de 60 anos. De acordo com o SALDAS, em julho de 2005 o primeiro nível de solo apresentou uma seca moderada, principalmente no sul da região norte. No segundo e terceiro nível foi encontrada uma seca moderada, assim como no primeiro nível,

porém em com menor área de abrangência. Já no quarto nível é visível apenas alguns indícios de seca na região.

Em agosto de 2005 o SALDAS identificou, no primeiro nível, uma seca excepcional e extrema por quase toda região amazônica, com uma intensidade maior no oeste da região. No segundo e terceiro nível a seca encontrada foi em maior parte extrema, mas com indícios de seca excepcional em algumas áreas da região amazônica. Já no quarto nível, a seca identificada foi moderada, em uma pequena parte no oeste da Amazônia.

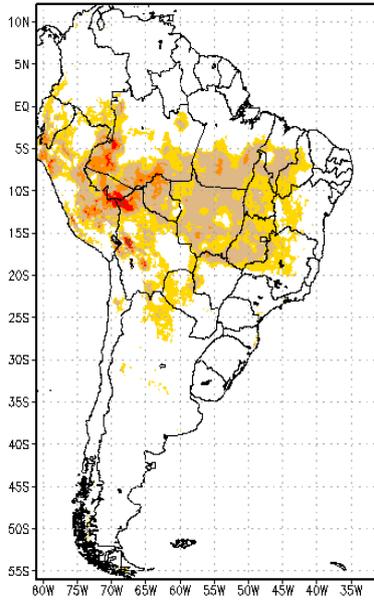
Em setembro de 2005 a intensidade da seca no primeiro nível se reduziu em comparação ao mês de agosto, porém ainda sendo encontrado seca excepcional em algumas áreas da região, principalmente na região central amazônica. Já no segundo e terceiro nível, foi registrado pelo SALDAS uma seca com intensidade similar a encontrada no primeiro nível, porém com maior extensão de seca excepcional, abrangendo a região central, oeste e sul amazônica. O quarto nível por sua vez, se recuperou rapidamente por conta da grande quantidade de rios e bacias hídricas presentes na região que aceleram a hidratação do solo. Logo, no último nível não há indícios de seca excepcional ou severa, porém foram registrados indícios de seca moderada pela região amazônica.

Em outubro de 2005, analisando os registros fornecidos pelo SALDAS, foi possível identificar que a seca estava próxima do fim. No primeiro nível, de toda a região amazônica, somente no nordeste da região foi possível visualizar um foco de seca extrema, porém no restante da região não foi identificado indícios de seca. O mesmo se repetiu no segundo e terceiro nível do solo. Já no quarto nível foi registrado um foco de seca um pouco diferente. A intensidade foi semelhante aos níveis superiores, porém o foi registrado neste nível um foco de seca extrema na região central amazônica, algo que não foi identificado nos outros níveis.

Em novembro de 2005 o SALDAS não registrou indícios de seca na região norte, pelo contrário, foram registrados níveis de umidade alta na região nos quatro níveis.

Figura 3.1

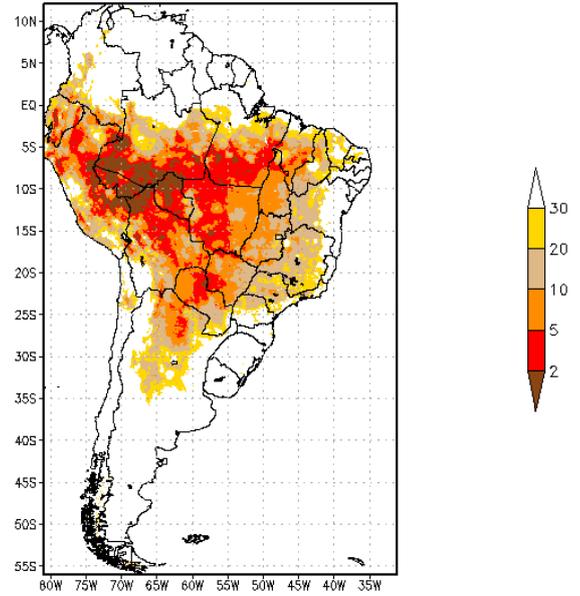
SALDAS2 Soil Moisture Percentile JUL2005 lev



Fonte: Gonçalves, G. (2020)

Figura 3.2

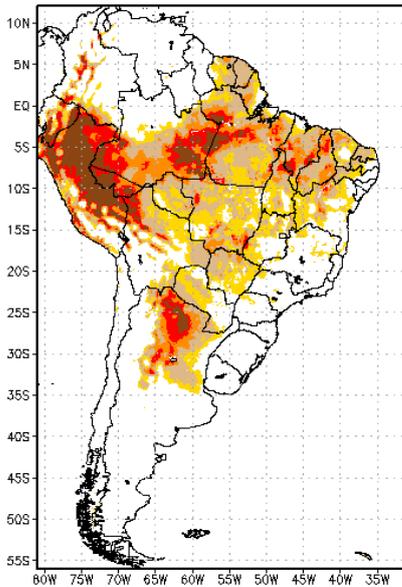
SALDAS2 Soil Moisture Percentile AUG2005 lev = 1



Fonte: Gonçalves, G. (2020)

Figura 3.4

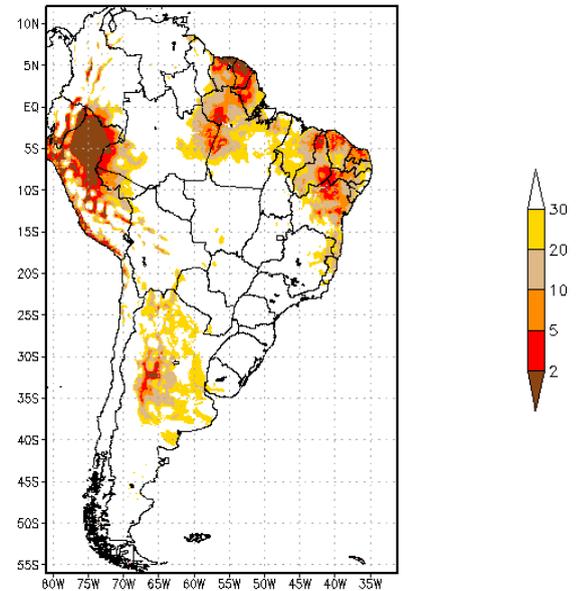
SALDAS2 Soil Moisture Percentile SEP2005 lev = 1



Fonte: Gonçalves, G. (2020)

Figura 3.5

DAS2 Soil Moisture Percentile OCT2005 lev = 1



Fonte: Gonçalves, G. (2020)

3.2 REGIÃO AMAZÔNICA – 2010

Muito similar ao ocorrido em 2005 nesta região, em 2010 a Amazônia passou por um conturbado período de seca intensa. De acordo com os dados obtidos pelo SALDAS, a partir de julho de 2010 uma seca de nível moderado foi registrada por quase toda a região norte brasileira. No entanto, mesmo a seca se iniciando em um período do ano muito próximo ao registrado em 2005, sua duração foi maior e consequentemente seus efeitos, tanto ao meio ambiente quanto à população também.

De acordo com uma pesquisa publicada pela revista “Science”, em fevereiro de 2011, estudos realizados a partir de dados pluviométricos entre 2000 e 2011, pode-se verificar que em 2010, em 57% da floresta amazônica houve menos chuva que o normal. O índice é maior que o de 2005, quando em 37% da região ocorreram menos chuvas, sendo o menor índice de chuva registrado até 2011 na região. Além disso foi concluído que por conta dessa seca, a região amazônica teve o pior período de emissão de carbono em mais de sessenta anos, o que foi devastador para a floresta.

Ainda baseado nos dados fornecidos pelo SALDAS, foi possível verificar que a seca se iniciou na região amazônica em junho de 2010 no nível mais superficial de solo e teve uma duração de aproximadamente 6 meses, quando os últimos registros de seca foram em janeiro de 2011 nos dois níveis mais profundos do solo. Por isso pode-se afirmar que sua duração foi realmente maior que em 2005, ano no qual foi registrado um período de seca de aproximadamente três meses.

Em relação a intensidade, de acordo com o SALDAS a seca chegou na região em julho no nível superficial com intensidade moderada, porém com o passar dos meses essa intensidade foi aumentando até ser registrada uma seca de nível excepcional em outubro de 2010, também no primeiro nível do solo.

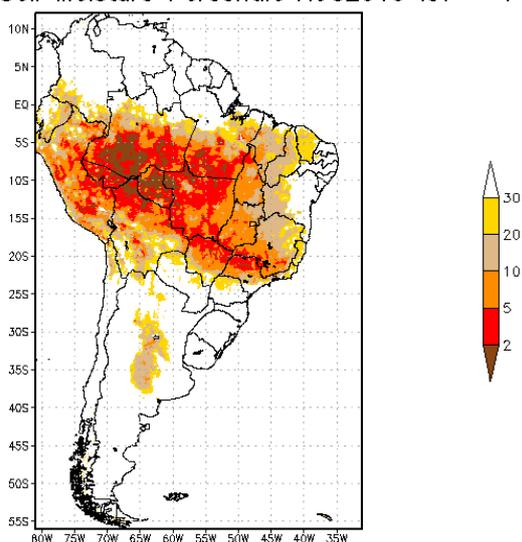
Com o passar dos meses, a extensão da seca foi se reduzindo, até que em dezembro de 2010 não foi mais registrada seca no nível superior, no entanto ainda era visível uma seca extrema pela região Amazônica no nível mais inferior em dezembro de 2010

e janeiro de 2011, isso ocorre pela velocidade de recuperação de solo ser reduzida em níveis mais profundos em relação aos mais superiores.

Já em fevereiro de 2011 o SALDAS não registrou seca nessa região em nenhum dos quatro níveis, concluindo o fim desse período de seca intensa.

Figura 3.6

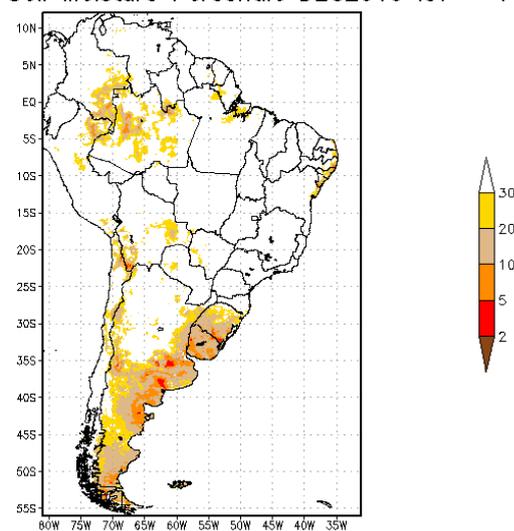
SALDAS2 Soil Moisture Percentile AUG2010 lev = 1



Fonte: Gonçalves, L.G. (2020)

Figura 3.7

SALDAS2 Soil Moisture Percentile DEC2010 lev = 1



Fonte: Gonçalves, L.G. (2020)

3.3 REGIÃO AMAZÔNICA – 2015 a 2016

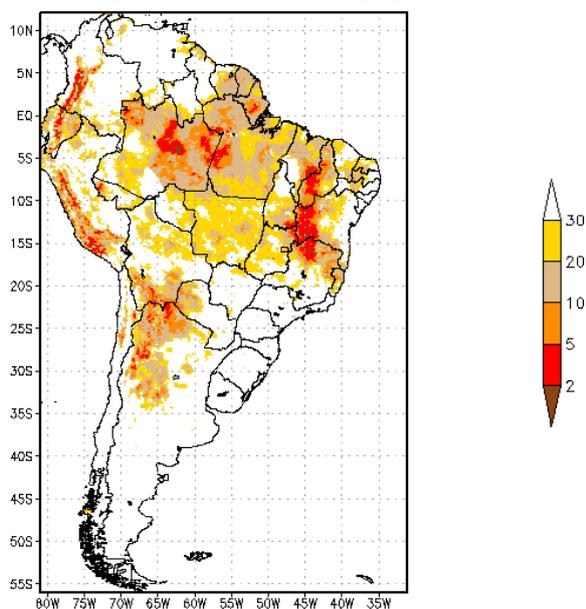
A última seca intensa registrada na região Amazônica entre 2000 e 2019 se iniciou em agosto de 2015 e teve seu último registro em fevereiro de 2016. Em comparação as duas últimas secas intensas registradas na região pode-se afirmar que, em relação a duração, a seca de 2015 se prolongou por mais tempo que em 2005, porém não foi tão duradoura quanto a seca de 2010. Entretanto, tanto as análises de resultados obtidos pelo SALDAS, quanto a literatura a respeito dessa seca e a análise da seca a partir do SPI puderam afirmar que a seca registrada em 2015 foi a mais intensa da região amazônica nos últimos sessenta anos, ultrapassando a intensidade das secas de

2010 e 2005. A região amazônica é vulnerável aos efeitos de eventos climáticos extremos, como “mega secas”, períodos extremos relacionados às mudanças nas estações chuvosa e seca aumentando os riscos de incêndios.

Na região Amazônica, as condições de seca foram mais intensas, principalmente nos anos de 2015 e 2016. Segundo Erfanian, et al, 2017, a severidade e extensão da seca de 2015-2016 na região amazônica supera a severidade de 2005 e secas de 2010, ambas considerados entre os maiores eventos climáticos do século. Além disso, as consequências eco hidrológicas também foram mais severas e extensas.

Figura 3.8

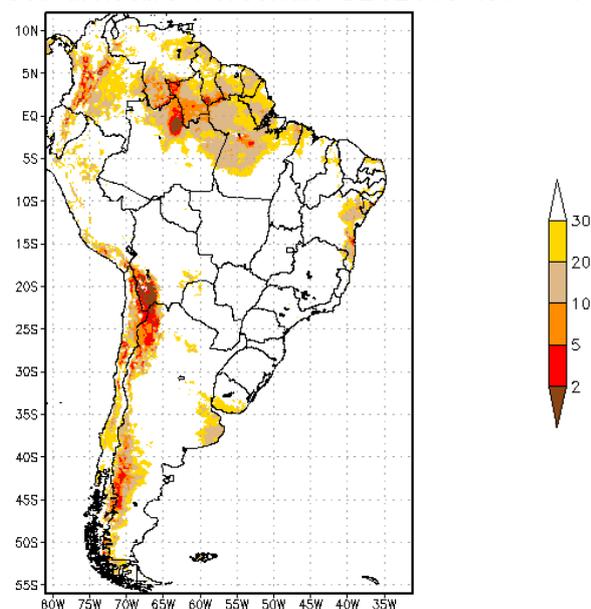
SALDAS2 Soil Mois e SEP2015 lev = 1



Fonte: Gonçalves, L.G. (2020)

Figura 3.9

SALDAS2 Soil Moisture Percentile DEC2015 lev = 1



Fonte: Gonçalves, L.G. (2020)

3.4 REGIÃO NORDESTE - 2010 a 2015

De acordo com José A. Marengo, et Al., uma intensa seca surgiu na região nordeste do Brasil entre 2010 e 2016.

Análises realizadas pelo SALDAS foram um importante determinante da veracidade e detalhamento da seca que ocorreu na região Nordeste, no período determinado.

Segundo o Ministério da Integração, “no período 2012-2016, 33,4 milhões de pessoas foram afetadas pela seca, com prejuízo estimado em R \$ 104 bilhões”.

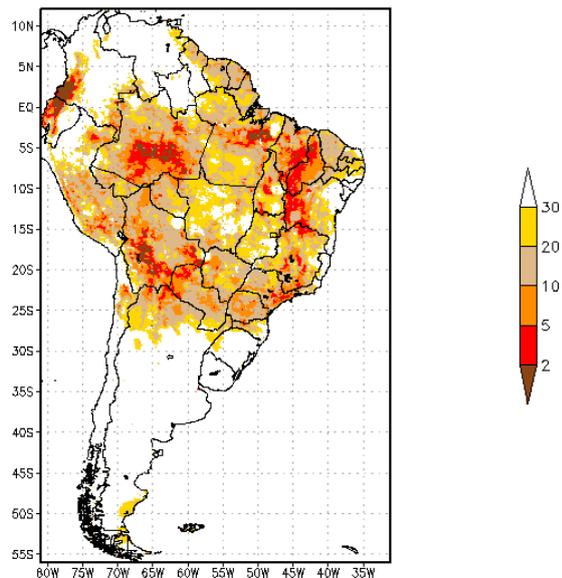
“Sobre o período chuvoso, fevereiro-maio, observa-se que 2010 foi um ano seco, sendo que no período 2010-15 apenas 2011 apresentou precipitação acima do normal e os anos seguintes caracterizaram-se por precipitação abaixo do normal, sendo a mais baixa em 2012.” (Marengo, J.a., et al.) De acordo com os resultados fornecidas pelo SALDAS, entre janeiro de 2010 e maio de 2012 foram observadas secas nos níveis mais profundos de solo, possivelmente resultados de secas anteriores que ocorreram na região e se prolongaram. A partir de agosto de 2012 foi possível observar através do SALDAS, índices de seca severa e extrema na região nordeste, no nível mais superficial. Essa seca se prolonga na região com grande intensidade até dezembro de 2012. “

De acordo com os resultados fornecidas pelo SALDAS, entre janeiro de 2010 e maio de 2012 foram observadas secas nos níveis mais profundos de solo, possivelmente resultados de secas anteriores que ocorreram na região e se prolongaram. A partir de agosto de 2012 foi possível observar através do SALDAS, índices de seca severa e extrema na região nordeste, no nível mais superficial. Essa seca se prolonga na região com grande intensidade até dezembro de 2012. A partir de janeiro de 2013, no nível de solo superficial, não foi mais detectada secas na região, no entanto, por se tratar de uma região semiárida já era esperado que nos níveis mais profundos a seca se prolongasse por alguns meses, e foi esse o resultado encontrado pelo SALDAS, no qual foram observadas secas severas e extremas na região nordeste, no nível mais profundo de solo (1 metro aproximadamente) desde janeiro de 2013 até fevereiro de 2014.

A partir de março de 2014 não foram detectados índices de seca pelo SALDAS até aproximadamente. No entanto, a partir de novembro de 2014 foram identificadas secas extremas na região que se mantiveram nos níveis mais profundos até setembro de 2015, sendo entre janeiro e fevereiro de 2015 seu período mais intenso.

Figura 3.11

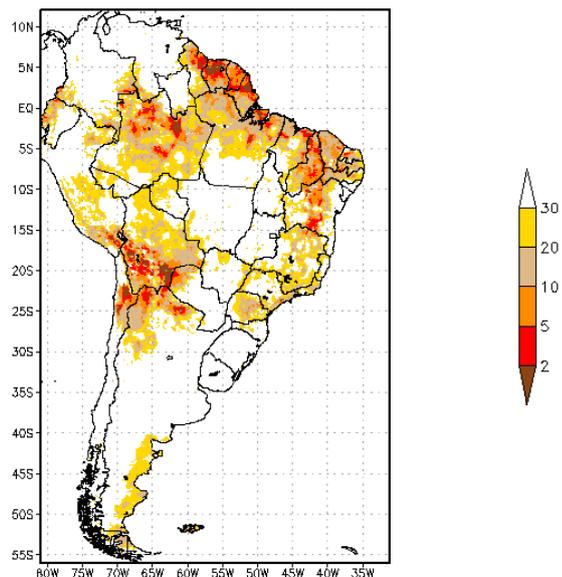
SALDAS2 Soil Moisture Percentile SEP2012 lev = 1



Fonte: Gonçalves, L.G. (2020)

Figura 3.11

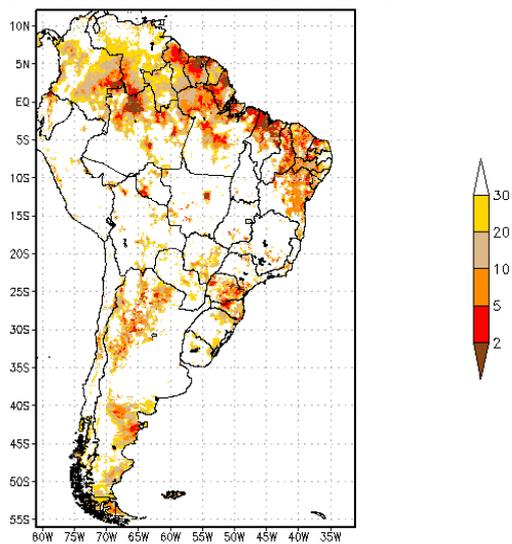
SALDAS2 Soil Moisture Percentile OCT2012 lev = 1



Fonte: Gonçalves, L.G. (2020)

Figura 3.12

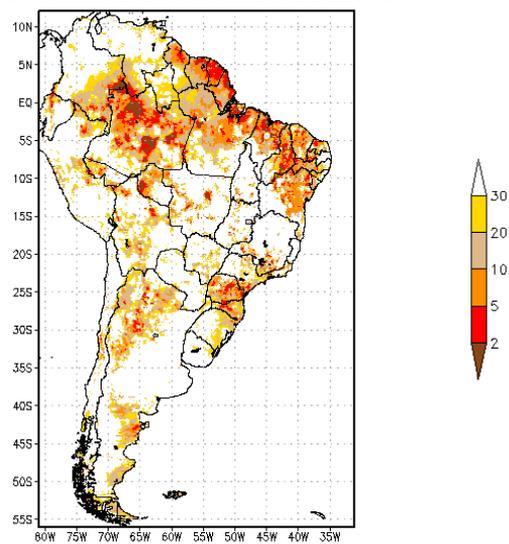
SALDAS2 Soil Moisture Percentile JAN2013 lev = 4



Fonte: Gonçalves, L.G. (2020)

Figura 3.13

SALDAS2 Soil Moisture Percentile DEC2012 lev = 4



Fonte: Gonçalves, L.G. (2020)

3.5 REGIÃO DE SÃO PAULO – 2012 a 2016

O sistema Cantareira, maior reservatório de água doce da região Sudeste, responsável pelo abastecimento hídrico de mais de 43 municípios da região, incluindo a cidade de São Paulo, passou pela maior crise hídrica da sua história, e isso foi resultado de um longo e intenso período de seca que surgiu na região, se iniciando em 2012 e deixando consequências desastrosas até meados de 2016. “Na região sudeste, o período mais seco ocorreu de 2013/2014 a 2014/2015, quando a frequência das secas foi de extrema a moderada. Em 2013/2014, foi registrado um pico de 42,6% de seca severa e 23,4% de seca moderada. Após 2017/2018, havia condições predominantemente anormais e normais” (Ana Paula M. Cunha, et. Al).

O estado de São Paulo registrou em 2012 o segundo maior período de sua história. De acordo com o Instituto Nacional de Meteorologia (Inmet), durante o inverno de 2012, mais precisamente no dia 18 de julho, o estado foi atingido por um período de escassez de chuva, com dias quentes e secos na região. Essas condições de seca permaneceram por mais de 60 dias, quando foi registrado em 19 de setembro de 2012 o retorno das chuvas na região. De acordo com os resultados obtidos pelo SALDAS, entre agosto e setembro de 2012, uma seca com intensidade moderada atingiu a região sudeste do Brasil, com a maior área de seca no estado de São Paulo. Através da análise dos resultados obtidos pelo SALDAS foi possível observar que a partir de outubro de 2012 não há registros consideráveis de seca nessa região no primeiro nível de solo, confirmando as informações fornecidas pelo Inmet aos jornais. Entretanto, mesmo com o retorno das chuvas na região, os efeitos da seca se estenderam por alguns meses adiante nos níveis mais profundos de solo, principalmente na última camada registrada pelo SALDAS, aproximadamente 1 metro de profundidade. De acordo com os resultados, foi registrada uma seca moderada e severa na região, no quarto nível de profundidade de solo, até dezembro de 2012, afetando a região. Essa onda de secas contribuiu fortemente para a crise hídrica que atingiu milhares de pessoas que vivem na capital de São Paulo e regiões próximas.

A partir de 2013 o clima na região Sudeste começou a se regular, com poucos períodos de seca durante o ano, e clima úmido em quase todos os estados, com exceção

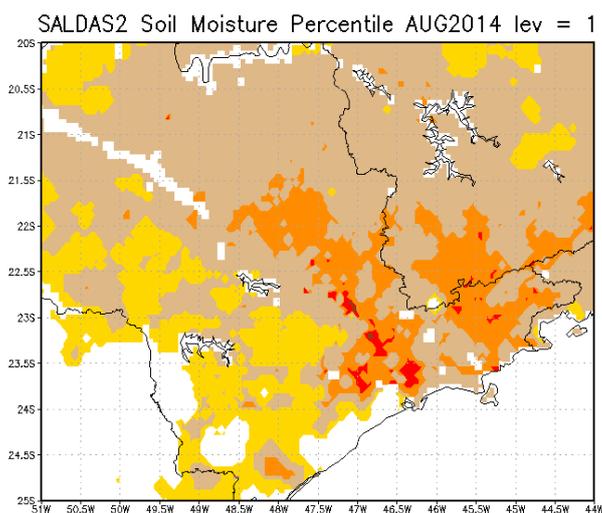
de curto período de seca registrado em São Paulo em agosto de 2013 e que se manteve em algumas regiões do estado até setembro de 2013 no primeiro nível de solo. Essa seca a princípio não se mostrava perigosa para a região, pois afetou a população e o sistema Cantareira em um curto tempo. No entanto, tal seca se alastrou nos níveis mais profundos de solo por alguns meses posteriores, coincidindo com uma próxima e intensa onda de seca que surgiu na região no ano seguinte.

Foi a partir de fevereiro de 2014, de acordo com os resultados obtidos através do SALDAS e da análise da literatura de diversos pesquisadores, que os habitantes da capital paulista e das regiões vizinhas começaram a sentir os efeitos de uma forte seca. Os resultados obtidos pelo SALDAS mostraram uma seca moderada no nível mais superficial de solo em fevereiro de 2014, mas sem registros de seca no primeiro nível de solo nos 5 meses seguintes. No entanto, a seca de 2012, registrada na região, somada as secas de 2013 e do início de 2014, junto a falta de umidade e baixa velocidade de recuperação dos solos da região, por conta baixa biodiversidade em São Paulo, em comparação a região Amazônica, foram responsáveis pela seca severa e extrema registrada na região entre 2014 e 2015, causando uma drástica redução dos níveis de água do sistema Cantareira, o qual chegou ao seu “volume morto”. “O Sistema Cantareira, sistema de abastecimento de água mais importante da região metropolitana de São Paulo, enfrentou sua pior escassez de água neste período. Durante este evento, o volume morto do reservatório foi utilizado de 12 de julho de 2014 a 30 de dezembro de 2015 (537 dias) afetando mais de 8,8 milhões de pessoas” (Ana Paula M. Cunha, et. Al).

De acordo com Augusto Getirana, “O abastecimento de água de 20 milhões de moradores de São Paulo, juntamente com dezenas de milhões de pessoas da região leste do estado, também está em perigo. Dados da Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (Sabesp) mostram que o principal sistema de reservatórios do estado, o Cantareira, sofreu intenso esgotamento e atingiu níveis historicamente baixos de armazenamento de água nos últimos meses: em 4 de setembro de 2014, o armazenamento de água do sistema era de 10,7% de sua capacidade total, muito abaixo dos 46,5%, 67,3% e 80,6% observados em 2013, 2012 e 2011, respectivamente. Assim como na maioria dos bairros do Nordeste, a crise hídrica obrigou a Sabesp e o governo do estado de São Paulo a tomar medidas emergenciais de racionamento de água em várias cidades”.

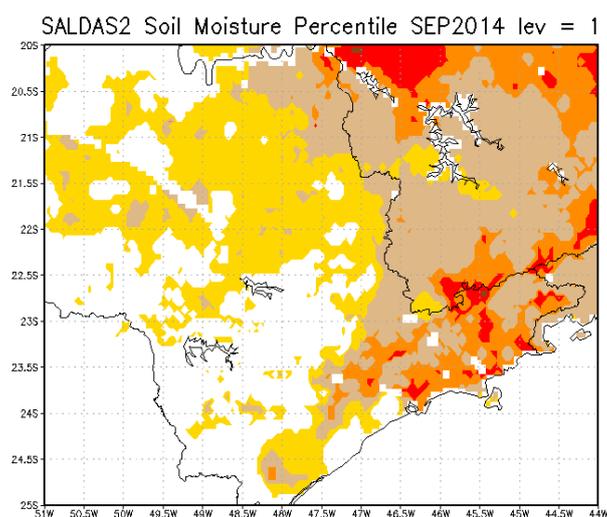
De acordo com o SALDAS, desde fevereiro de 2014 foram registradas secas de níveis severo e extremo em algumas áreas do estado de São Paulo, Rio de Janeiro e Minas Gerais. Com o passar dos meses a intensidade dessa seca deveria se reduzir gradualmente, porém ocorreu o oposto, principalmente na região de São Paulo, e com o passar do tempo tanto a intensidade quanto a área afetada pela seca aumentava. A partir de junho de 2014, no terceiro e quarto nível de profundidade de solo, foi registrado o período mais intenso de seca no estado de São Paulo a pelo menos 20 anos. Esses longos meses de seca afetaram drasticamente a população da região metropolitana de São Paulo, principalmente pelo fato dessa seca extrema ter atingido o sistema Cantareira, maior reservatório de água do estado de São Paulo, o qual registrou em setembro de 2014 o menor volume de água em toda a sua história, 8,0% de sua capacidade total, já utilizando o “volume morto”, ou seja, dos 982 bilhões de litros de água que correspondem a sua capacidade máxima, mais os 182 bilhões de litros de água correspondente ao volume morto, já utilizado, os mais de 9 milhões de habitantes da capital paulista que dependiam desse reservatório ficaram dependentes de 104 bilhões de litros de água restantes. A seca extrema permaneceu, em extensas áreas da região por aproximadamente 8 meses, se iniciando em junho e mantendo a intensidade e extensão até fevereiro de 2015. De acordo com a Agência Nacional de Águas (ANA), o mês de fevereiro foi o mais chuvoso da região em 9 anos, mesmo não sendo o suficiente para que o Cantareira volte a sua normalidade, esse período chuvoso foi de grande importância para a região e população, pois com isso os resultados mostraram uma considerável redução das áreas atingidas pela seca, mas ainda sendo visível seca extrema em alguns pontos da capital paulista e cidades próximas neste mês. Contudo os efeitos desse período chuvoso se mostrou eficiente a partir do mês seguinte. Foi a partir de março de 2015 que, de acordo com os resultados do SALDAS, a o período de seca na região sudeste terminou, nos quatro níveis de profundidade de solo foram registradas áreas de grande umidade por toda a região. Os meses seguintes levaram resultados positivos para a região, aparentemente o período de seca havia acabado e aos poucos os níveis de água do sistema Cantareira aumentavam e retornavam a sua normalidade. Segundo a Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (Sabesp), em janeiro de 2016 o sistema já contava com mais de 60% de sua capacidade.

Figura 3.14



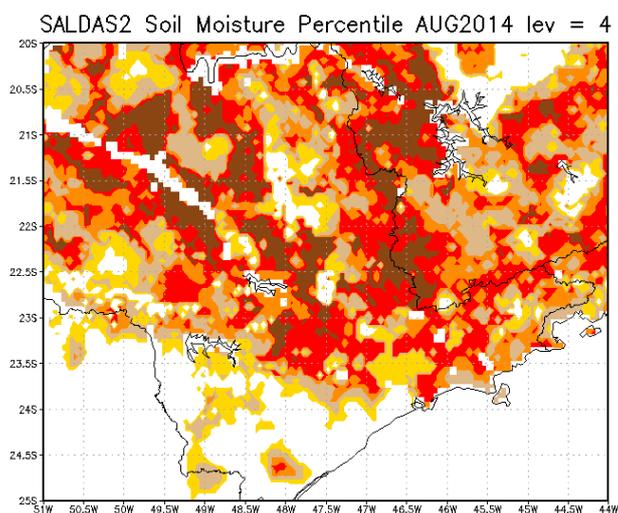
Fonte: Gonçalves, L.G. (2020)

Figura 3.15



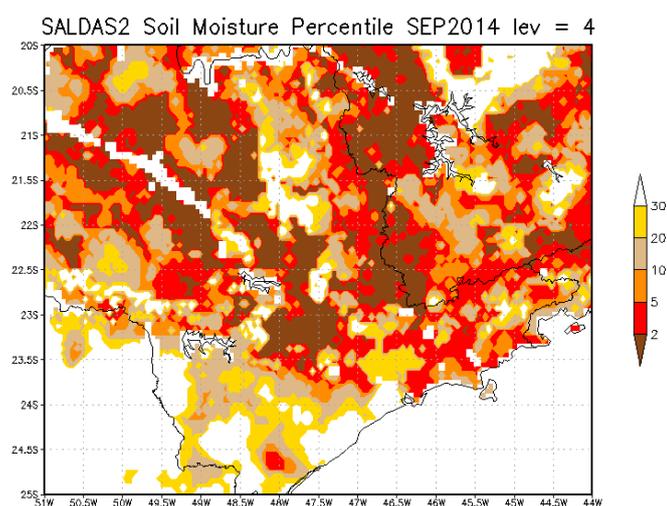
Fonte: Gonçalves, L.G. (2020)

Figura 3.16



Fonte: Gonçalves, L.G. (2020)

Figura 3.17



Fonte: Gonçalves, L.G. (2020)

3.6 REGIÃO SUL – 2011 A 2014

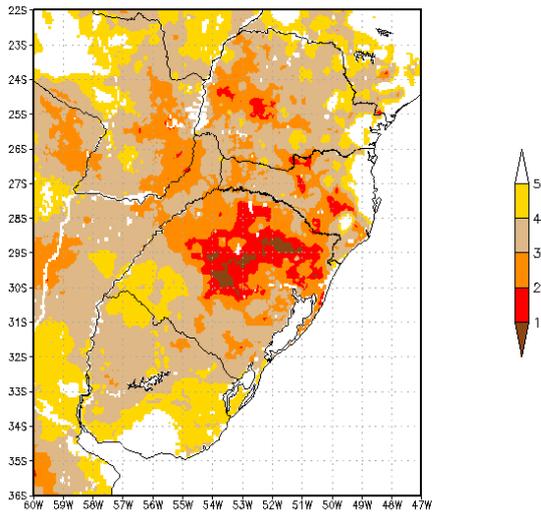
Com base na observação e análise dos dados obtidos pelo SALDAS, foi constatado que a região Sul sofreu uma seca intensa por um período de aproximadamente sete meses, se iniciando em junho de 2011 com uma seca moderada

em grande parte da região, mas principalmente no estado do Rio Grande do Sul, e se estendendo até junho de 2012, quando foram registrados os indícios finais da seca na região. Por se tratar de uma região formada majoritariamente pela vegetação de Pampas, além de ser uma região de baixa concentração de água subterrânea, é esperado que após uma seca intensa, a recuperação do solo seja consideravelmente lenta, em comparação a recuperação de uma seca na região amazônica, que conta com uma vasta floresta tropical e elevada quantidade de água subterrânea. Após a análise de todos os resultados referentes a região sul entre 2011 e 2012 foi possível verificar a veracidade de tal teoria. De acordo com os resultados, após uma considerável redução da seca na região no nível mais superficial do solo, que ocorreu em maio de 2012, o SALDAS registrou uma seca extrema e excepcional na região até agosto desse mesmo ano, no último nível de profundidade.

Após a comparação dos resultados do SALDAS com a literatura, pode-se reafirmar a capacidade do sistema em identificar secas de diferentes intensidades utilizando dados de umidade de solo, uma vez que essa seca foi citada por diferentes pesquisadores. Em 2011/2012, a maior parte da região sul do Brasil apresentou condições de seca em uma extensa área, com a maior intensidade registrada em agosto de 2012. Conforme estimado por Getirana, a maior parte da região sul experimentou um esgotamento substancial das águas superficiais e subterrâneas em 2012. O déficit de água nesta região variou de -10 a -5 cm (estimado por Gravity Recovery and Climate Experiment - GRACE). A intensa seca afetou o abastecimento de água nas propriedades rurais e a produção agrícola e pecuária. Por isso, de acordo com o Sistema Integrado de Informação em Desastres, o Governo Federal reconheceu a situação de emergência em 70% dos municípios (378 cidades) do Estado do Rio Grande do Sul. Tal reconhecimento permite que os municípios solicitem o apoio do Governo Federal para medidas emergenciais de enfrentamento ao período de escassez hídrica. (Cunha, A.P., et. Al).

Figura 3.18

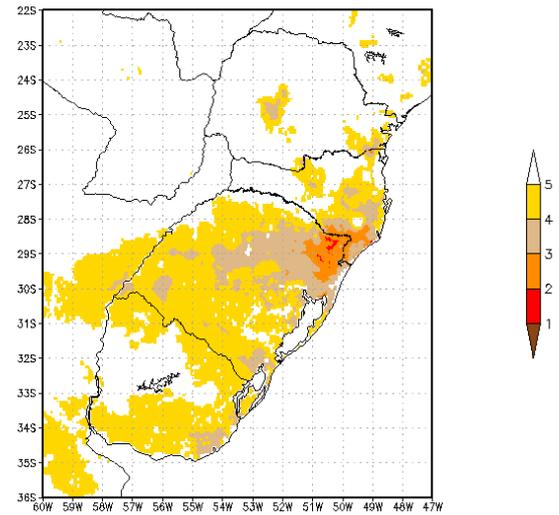
SALDAS2 Soil Moisture Percentile DEC2011 lev = 1



Fonte: Gonçalves, L.G. (2020)

Figura 3.19

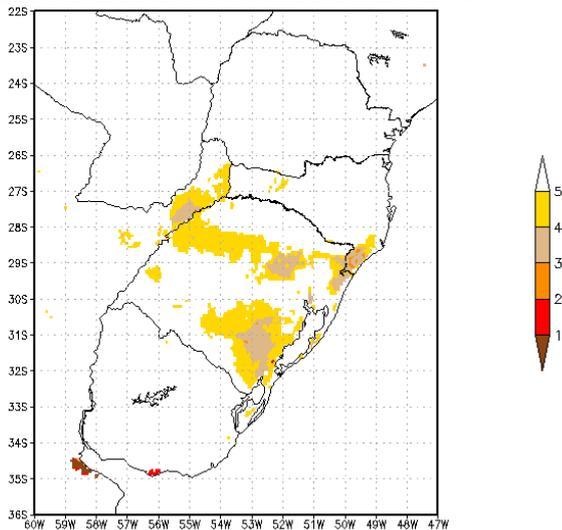
SALDAS2 Soil Moisture Percentile NOV2011 lev = 1



Fonte: Gonçalves, L.G. (2020)

Figura 3.20

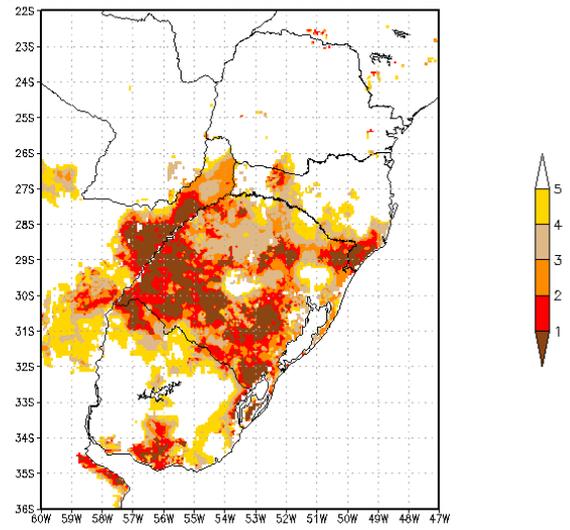
SALDAS2 Soil Moisture Percentile JUN2012 lev = 1



Fonte: Gonçalves, L.G. (2020)

Figura 3.21

SALDAS2 Soil Moisture Percentile JUN2012 lev = 4



Fonte: Gonçalves, L.G. (2020)

4. CONCLUSÕES

No presente trabalho foram comparadas as estimativas de seca sobre a América do Sul utilizando as saídas de umidade do solo simuladas pelo SALDAS, com o histórico levantado na literatura científica para o período dos últimos 20 anos.

O SALDAS, em relação à análise e observação de secas no Brasil apresenta boa eficiência, onde a grande maioria dos relatos a respeito das secas encontrados nos papers foram confirmadas, além de demonstrada precisão relativo à ocorrência das secas, variações em intensidade e expansão espacial ao longo das regiões, o que raramente é relatado nos papers.

Os relatos de seca descritos pelos diferentes estudos pesquisados foram confirmados pelas estimativas do SALDAS, entretanto, suas análises eram baseados majoritariamente por observações, resultando muitas vezes em registro do fenômeno de maneira superficial, com pouco detalhamento, tanto na duração das secas, quanto na intensidade e impactos continuados durante os meses seguintes. Por conta disso, o SALDAS demonstra ser uma ferramenta com grande potencial para identificação, com maior precisão possível, de uma seca, incluindo quais regiões atingidas e por quanto tempo ela se manteve, não somente na superfície, mas em níveis mais profundos do solo (até dois metros de profundidade) sendo essencial para conhecimento mais detalhado de seus impactos sobre o Brasil e América do Sul.

Além disso, com os resultados obtidos pelo SALDAS, foi possível identificar os diferentes impactos da seca em regiões com condições climáticas, tipo de vegetação e tipo de solo diferentes. Pois através dos resultados foi observado que no período seguinte a seca superficial, ou seja, período no qual a retorno de chuvas na região, a seca ainda persiste com grande intensidade, principalmente nos níveis mais profundos de solo, captados pelo SALDAS. Entretanto, em regiões de clima úmido, onde é encontrada água subterrânea em abundância, a recuperação do solo por completo se dá de maneira mais rápida que em regiões de clima seco, que dependem exclusivamente da água das chuvas.

Por fim é possível afirmar que essa ferramenta é apta para estimar as secas na América do Sul. Desse modo, o SALDAS é capaz de expandir suas funções para além de análise de umidade de solo e servir como importante ferramenta para diversos outros fins, podendo atuar como ferramenta no agronegócio, gerando resultados de evapotranspiração em grandes plantações, na área de recursos hídricos, estimando níveis de alagamentos ou calculando resultados de níveis de vazão de água em rios.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CEBALLOS, J.C., M.J. BOTTINO, J.M. SOUZA. A simplified physical model for assessing solar radiation over Brazil using GOES 8 visible imagery. *J. of Geophys. Research*, v. 109, D02211, doi:10.1029/2003JD003531, 2004.

Cunha, A.P., et al. Brazilian Experience on the Development of Drought monitoring and Impact Assessment Systems.

Cunha, A.P., et al. (2019), Extreme Drought Events over Brazil from 2011 to 2019.

De Goncalves, L.G., Shuttleworth, W.J., Vila, D., Larroza, E., Bottino, M., Herdies, D., Aravéquia, J., de Mattos, J.G., Toll, D., Rodell, M., Houser, P. (2009). The South American Land Data Assimilation System (SALDAS) 5-Yr Retrospective Atmospheric Forcing Datasets. *Journal of Hydrometeorology*. 10. 10.1175/2009JHM1049.1.

Getirana, A. (2016), Extreme Water Deficit in Brazil Detected from Space. <https://journals.ametsoc.org/jhm/article/17/2/591/6004/Extreme-Water-Deficit-in-Brazil-Detected-from>

Globo Natureza, São Paulo, (2013).

<http://g1.globo.com/natureza/noticia/2013/01/nasa-mostra-que-seca-de-2005-afetou-area-da-amazonia-por-anos.html>

Hao, Z., F. Hao, Y. Xia, V. P. Singh, Y. Hong, X. Shen, and W. Ouyang, 2016: A Statistical Method for Categorical Drought Prediction Based on NLDAS-2. *J. Appl. Meteor. Climatol.*, 55, 1049–1061, <https://doi.org/10.1175/JAMC-D-15-0200.1>.

Marengo, J.A.; Alves, L.M.; Alvala, R.C.; Cunha, A.P; Brito, S.; Moraes, O.L. (2017), Climatic characteristics of the 2010-2016 drought in the semiarid Northeast Brazil region. <https://www.scielo.br/pdf/aabc/v90n2s1/0001-3765-aabc-201720170206.pdf>

Minetti, J.L.; Vargas, W.M.; Poblete, A.G.; Bobba, M.E., (2009), REGIONAL DROUGHT IN THE SOUTHERN OF SOUTH AMERICA - PHYSICAL ASPECTS. <https://www.scielo.br/pdf/rbmet/v25n1/v25n1a08.pdf>

Niu, G.-Y., et al. (2011), The community Noah land surface model with multiparameterization options (Noah-MP): 1. Model description and evaluation with local-scale measurements, *J. Geophys. Res.*, 116, D12109, doi:10.1029/2010JD015139.

Rozante, J. R.; Moreira, D. S. ; Gonçalves., L. G. G. ; Vila, Daniel A. . Combining TRMM and Surface Observations of Precipitation: Technique and Validation Over South America. *Weather and Forecasting*, v. 25, p. 885-894, 2010. DOI:<http://dx.doi.org/10.1175/2010WAF2222325.1>

Saatchi, S.; Najafabady, S.; Malhi, Y.; Aragão, L.; Anderson, L.; Myneni, R.; Nemani, R., Persistent effects of a severe drought on Amazonian forest canopy. <https://www.pnas.org/content/pnas/110/2/565.full.pdf>