



O CLIMA DE SANTA MARIA

Arno Bernardo Heldwein
Galileo Adeli Buriol
Nereu Augusto Streck

Santa Maria é um dos locais mais quentes do Rio Grande do Sul em função de sua continentalidade e baixa altitude. Ainda assim, nos meses de abril a setembro, a região está sujeita a geadas fracas e moderadas. Embora predomine o vento Sudestado, o vento Norte é um fenômeno marcante na cidade por sua alta velocidade e temperatura. A umidade relativa do ar é elevada durante todo o ano, condicionando um clima úmido com chuvas bem distribuídas. Os totais mensais de precipitação pluviométrica ficam, por vezes, abaixo dos totais mensais de evaporação e evapotranspiração, causando deficiência hídrica, mais pronunciada no verão. Portanto, períodos de seca são comuns em Santa Maria, o que exige medidas para o armazenamento de água e práticas de manejo do solo que minimizem tais efeitos negativos. No inverno, ao contrário, merecem destaque os excessos hídricos.

Características regionais

Santa Maria está localizada na região fisiográfica da Depressão Central do Estado do Rio Grande do Sul. Além da sede municipal, engloba oito distritos (São Valentim, Pains, Arroio Grande, Arroio do Só, Passo do Verde, Boca do Monte, Palma e Santa Flora), totalizando uma área de 1.774,83km². O clima mesotérmico e úmido da região define-se, conforme a classificação de Köppen, como do tipo fundamental Cfa, caracterizado como subtropical úmido com verões quentes, sem estação seca definida.¹ Latitude, altitude, continentalidade, orografia e circulação secundária da atmosfera constituem os principais fatores que condicionam esse clima.

A análise da variação dos principais elementos meteorológicos medidos na Estação Climatológica Principal do 8º Distrito de Meteorologia (8ºDISME), pertencente ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), serviu de fundamentação para este trabalho.

Temperatura

Na região de Santa Maria, a temperatura média anual normal é considerada relativamente baixa em relação à média do Brasil. Conforme os valores medidos em diferentes períodos, publicados por diferentes autores², o valor médio normal no período de 1912-2004 é de 19,1°C (tabela 1). O mês mais quente é janeiro, com temperatura média normal de 24,7°C. Depois, o calor diminui sensivelmente até junho e julho, quando a média diária mensal atinge 13,8°C. Após o mês de julho, as temperaturas aumentam novamente até janeiro (tabela 1), fechando o ciclo.

O verão é bastante quente, com média mensal normal das temperaturas máximas diárias do ar acima de 29,5°C nos meses de dezembro a fevereiro. As temperaturas máximas absolutas já registradas desde 1912 a 2006 nos cinco meses mais quentes (novembro, dezembro, janeiro, fevereiro e março) foram de 40,2°C, 41,0°C, 41,2°C, 39,8°C e 39,6°C, respectivamente. Os períodos de maior calor nos diferentes meses, em geral, estão associados à ocorrência persistente de vento Norte por vários dias e, quando essa condição é acompanhada de estiagem, podem ocorrer temperaturas máximas diárias extremamente altas para a época do ano em questão. Os períodos contínuos de dias muito quentes, com temperatura máxima excedendo 35°C, podem prolongar-se por até 3 a 7 dias, dependendo do mês, desde outubro até março.

¹ MORENO, J. A. *Clima do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre: Secretaria da Agricultura do Estado do Rio Grande do Sul, Diretoria de Terras e Colonização, Seção de Geografia. 1961. 61 p.

² MACHADO, F. P. *Contribuição ao Clima do Rio Grande do Sul*. Rio de Janeiro: IBGE, 1950.
BURIOL, G. A.; SACCOL, A. V.; SCHNEIDER, F. M.; HELDWEIN, A. B.; MANFRON, P. A. & ESTEFANEL, V. Análise das temperaturas mínimas do ar registradas em Santa Maria, RS. III – Caracterização do comportamento das temperaturas mínimas diárias do ar ao longo do ano. *Revista do Centro de Ciências Rurais*, Santa Maria, v. 19, n. 1-2, p. 93-111, 1989.
INMET. (Instituto Nacional de Meteorologia). *Normais Climatológicas (1961-1990)*. Brasília: INMET, 1992.
HELDWEIN, A. B. Deficiências hídricas nos solos da região central do Rio Grande do Sul: riscos e tendência climática e tendências do frio invernal na região central do Rio Grande do Sul. In: *Conferências da Audiência Pública da Câmara de Vereadores de Santa Maria Sobre Mudanças Climáticas em Santa Maria*. Santa Maria: TV Câmara, 2007. (Vídeo).

Tabela 1: Valores médios normais e extremos mínimos e máximos de temperatura do ar (em abrigo meteorológico padrão, a 1,5m acima da superfície do solo em área gramada) e sobre relva (a céu aberto a 5cm acima da superfície do solo relvado) em Santa Maria, Rio Grande do Sul.

Variável de temperatura	Mês												Ano
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Valor médio normal													
Temperatura média (°C)	24,7	24,1	22,5	19,0	15,9	13,8	13,8	14,9	16,3	19,1	21,4	23,8	19,1
Média das temperaturas máximas	30,7	29,9	28,6	25,0	21,9	19,4	19,4	20,8	22,0	24,9	27,4	29,8	25,0
Média das temperaturas mínimas	19,7	19,6	18,2	14,9	11,8	9,9	9,8	10,6	11,8	14,3	16,1	18,4	14,6
Amplitude térmica diária* (°C)	11,0	10,3	10,4	10,1	10,1	9,5	9,6	10,2	10,3	10,6	11,3	11,5	10,4
Valor mais baixo já registrado													
Menor média diária da temperatura do ar (°C)	17,8	16,0	14,2	8,8	5,0	2,7	3,4	3,6	6,8	9,0	11,6	14,7	2,7
Menor temperatura máxima diária do ar (°C)	22,4	17,2	16,9	4,6	9,6	8,3	6,8	8,6	11,0	14,6	16,2	20,1	4,6
Temperatura mínima absoluta do ar (°C)	9,4	9,0	3,1	3,0	-1,0	-2,6	-2,9	-2,0	0,2	2,8	5,2	7,2	-2,9
Ano da temperatura mínima absoluta do ar	1992	1924	1970	1971	1971	1971	2000	1995	1964	1924	1931	1971	2000
Menor amplitude térmica diária (°C)	2,5	1,6	1,2	0,2	0,6	0,3	0,6	0,6	1,1	1,8	1,4	1,6	0,2
Temperatura mínima absoluta de relva (°C)	3,2	3,2	2,0	-1,0	-4,9	-8,4	-6,5	-7,4	-5,2	-1,8	1,2	2,5	-8,4
Valor mais alto já registrado													
Maior temperatura média diária (°C)	33,0	31,1	31,0	29,2	28,5	27,4	27,6	29,9	30,3	32,3	31,7	31,7	33,0
Temperaturas máximas absolutas do ar (°C)	41,2	39,8	39,6	36,6	34,1	31,0	32,0	34,0	36,6	37,2	40,2	41,0	41,2
Maior temperatura mínima diária do ar (°C)	27,7	29,5	25,9	27,6	27,2	25,6	26,0	27,2	28,4	28,2	29,8	26,8	29,8
Maior amplitude térmica diária (°C)	21,2	20,2	20,4	22,3	22,4	23,6	23,6	23,2	22,1	23,7	24,0	24,4	24,4

*Diferença entre a temperatura máxima e a temperatura mínima do dia.

O inverno é ameno, mas sujeito a ondas de frio provocadas pelo deslocamento frequente de anticiclones polares migratórios, que podem causar geadas, por vezes intensas. A frequência média normal de geadas é de nove dias por ano, entre abril e outubro.³

³ MACHADO, F. P. *Op. cit.*
MORENO, J. A. *Op. cit.*
BURIOL, G. A. *et al.* Análise das temperaturas mínimas do ar registradas em Santa Maria... *Op. cit.*

Nos meses de junho a agosto registram-se as temperaturas mais baixas. As temperaturas mínimas absolutas do ar, isto é, as mais baixas já registradas na série histórica de 1912 a 2007, alcançaram -2,6°C em junho (1971), -2,9°C em julho (2000) e -2,0°C em agosto (1995). Portanto, ocorreram nos últimos 39 anos (de 08/1968 a 07/2007), embora se verifique que as médias mensais das temperaturas mínimas apresentam tendência climática de aumento de 0,02°C por ano nos últimos 40 anos em Santa Maria.

Considerando que a temperatura do ar é medida na condição padrão do interior do abrigo meteorológico, a 1,5 m de altura, a temperatura mínima na superfície do gramado exposta a céu aberto, denominada “mínima de relva”, é bem menor do que no abrigo, principalmente em noites límpidas e calmas de geada, em que em média é de 4,5 a 5,0°C mais

⁴ HELDWEIN, A. B.; ESTEFANEL, V.; MANFRON, P. A.; SACCOL, A. V.; BURRIOL, G. A. & SCHNEIDER, F. M. Análise das temperaturas mínimas do ar registradas em Santa Maria, RS. I – Estimativa das temperaturas mínimas do ar a 5 cm da superfície do solo relvado e do solo desnudo. *Revista do Centro de Ciências Rurais*, Santa Maria, v. 18, n. 1, p. 3-14, 1988.

baixa do que no abrigo.⁴ Assim, as temperaturas mínimas de relva mais baixas já registradas em Santa Maria são negativas no período de abril a outubro e da ordem de -5 a -8°C nos meses de maio a setembro (tabela 1). Na data de 14/07/2000, em que ocorreu a mais baixa temperatura mínima do ar registrada em Santa Maria (-2,9°C) desde 1912, a temperatura mínima de relva foi de -6,5°C. A mais baixa temperatura mínima de relva, de -8,4°C, foi registrada em 17/06/1971, data em que também ocorreu a temperatura mínima absoluta do ar do mês de junho (-2,6°C) no abrigo meteorológico. A mais baixa temperatura mínima de relva registrada em agosto foi de -7,4°C (05/08/1995) e em maio foi de -4,9°C (28/05/1971).

A variação anual das médias mensais das temperaturas máximas e das temperaturas mínimas acompanha a variação anual das médias mensais das temperaturas médias, mantendo uma diferença de aproximadamente 5°C em relação a essa última. Com isso, a variação diária da temperatura do ar, denominada “amplitude térmica diária”, apresenta valor médio anual de 10,4°C, sendo maior em dezembro, com 11,5°C, e menor em junho, com 9,5°C. Existe, porém, uma tendência de diminuição da ordem de 0,02°C por ano da amplitude térmica diária, o que está associado ao aumento das temperaturas mínimas do ar. Caso essa tendência persista, em 50 anos a amplitude de variação diária da temperatura do ar poderá ser de 1°C menor do que hoje.

A amplitude térmica anual – diferença entre o mês mais quente e o mês mais frio – é de aproximadamente 10,7°C. Janeiro é o mês mais quente, com média normal de 24,7°C, e junho e julho os dois meses mais frios, com média mensal de 14,3°C e 14,1°C, respectivamente⁵, considerando o período de 1912 a 1942, e de 13,8°C nestes dois meses nos últimos 38 anos⁶.

Não são raros os períodos de grande flutuação de temperatura no inverno, alcançando valores altos para essa época nos dias de predominância de “vento Norte”, em contraposição a noites límpidas muito frias, quando os anticiclones polares migratórios estão atuando sobre a região.

Insolação e disponibilidade de energia solar

Insolação é o tempo em horas de brilho solar na superfície, isto é, o tempo em que não há sombreamento por nuvens e nevoeiros. Esse valor é sempre menor do que a duração astronômica do dia, que é o tempo entre o nascer e o por do sol em relação ao plano do horizonte do local.

⁵ MACHADO, F. P. *Op. cit.*

⁶ INMET. *Op. cit.*
HELDWEIN, A. B. *Op. cit.*

No entanto, o tempo de claridade ao longo de um dia, denominado fotoperíodo, é maior do que a duração astronômica, pois inclui o tempo de duração dos crepúsculos do amanhecer e do anoitecer.

Através da geometria espacial é possível determinar a altura do sol em relação ao horizonte, o que permite obter os ângulos de incidência solar nas diferentes horas do dia e épocas do ano, e, por conseguinte, calcular a duração do dia e a duração do fotoperíodo civil.

Em função da latitude em que está situada Santa Maria (29°43' S), o ângulo zenital dos raios solares, no momento da passagem diária do sol pelo meridiano do local, varia de 6°16' a 53°10', nos solstícios de inverno (21/06) e de verão (21/12), respectivamente.⁷ Essa informação tem diferentes aplicações, como por exemplo na instalação de aquecedores solares e de geradores de energia elétrica com o uso de fotocélulas, e na arquitetura das edificações.

O uso adequado da radiação solar nas edificações economiza energia para resfriamento e aquecimento dos ambientes, colaborando para melhor conforto e qualidade de vida do usuário. A disponibilidade de radiação solar e de insolação em Santa Maria é uma das menores do Rio Grande do Sul, principalmente, devido à alta frequência de nevoeiros (92 dias por ano) e nebulosidade ligeiramente maior.⁸ Assim, nos meses de junho a agosto, o valor normal de insolação não alcança 5,1 horas por dia, ultrapassando levemente 8 horas por dia apenas nos meses de dezembro e janeiro (tabela 2). No entanto, a duração astronômica do dia varia ao longo do ano desde o máximo de 13h:55min, em 21 de dezembro, a 10h:05min em 21 de junho. A disponibilidade de energia solar é máxima em dias límpidos, entre 15 e 25 de dezembro, alcançando no máximo 28,7 MJ m⁻² dia⁻¹, e sendo mínima na segunda quinzena de junho.

Precipitação

A precipitação pluviométrica ou chuva é medida na estação meteorológica de Santa Maria pertencente ao 8° DISME, desde 1912. Esses dados constituem uma série histórica consistente de eventos que possibilita analisar com segurança a ocorrência de precipitação pluviométrica na região.⁹ Considerando a série histórica 1912-2004 da estação do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) em Santa Maria, elaborada por Buriol *et al.*¹⁰, a análise indica que o regime pluviométrico do município é isoigro, isto é, os valores normais de chuva são bem distribuídos ao longo

⁷ Solstícios são denominados os dois momentos do ano ou os dois pontos da trajetória anual de translação da terra em torno do sol quando este apresenta declinação máxima. Em uma destas ocasiões, o sol apresenta máxima declinação norte (solstício de inverno no hemisfério sul) e na outra máxima declinação sul (solstício de verão no hemisfério sul), o que significa a formação do maior ângulo entre os raios solares e o plano imaginário que passa pelo equador da terra. Isso ocorre porque o plano do equador terrestre apresenta inclinação constante de 23°27' em relação ao plano da eclíptica, que é formado pela linha de translação da terra em torno do sol ao longo do ano.

⁸ MACHADO, F. P. *Op. cit.*

⁹ BURIOL, A. B. *et al.* Homogeneidade e estatísticas descritivas dos totais mensais e anuais de chuva de Santa Maria, Estado do Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, Porto Alegre, v. 11, n. 4, 2006.

¹⁰ BURIOL, A. B. *et al.* Homogeneidade e estatísticas descritivas dos... *Op. cit.*

do ano. As médias mensais normais oscilam de 120,1 (novembro) e 126,8mm (agosto) a 159mm (setembro e outubro), acumulando-se no ano uma média normal de 1.712,4mm (tabela 2). Os valores de desvio padrão das médias mensais são grandes, alcançando de 68mm (agosto) a 104mm (maio), o que caracteriza a grande variabilidade entre anos (tabela 2).

Tabela 2: Valores médios normais e extremos mínimos e máximos de diferentes elementos climáticos em Santa Maria, Rio Grande do Sul.

Variável climatológica	Mês												Ano
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Valor médio normal													
Umidade relativa média do ar (%)	72,1	77,0	79,0	81,7	82,9	83,3	81,2	78,8	77,6	74,7	70,2	68,4	77,2
Média da umidade relativa do ar às 15 horas (%)	58,7	62,3	62,4	62,9	64,8	68,0	66,5	62,8	62,2	59,9	55,9	54,3	61,7
Insolação diária (horas dia ⁻¹)	8,05	7,34	6,77	5,96	5,32	4,38	4,74	5,06	5,45	6,42	7,69	8,37	6,29
Evapotranspiração de potencial mensal e anual (mm)	123,7	97,4	85,7	52,3	33,9	25,2	28,6	41,1	56,5	82,5	103,4	125,9	856,2
Evapotranspiração de potencial diária (mm dia ⁻¹)	3,99	3,45	2,76	1,74	1,09	0,84	0,92	1,33	1,88	2,66	3,45	4,06	2.345
Capacidade evaporativa do ar diária (mm dia ⁻¹)	3,17	2,68	2,38	1,94	1,71	1,65	2,06	2,35	2,29	2,72	3,44	3,81	2,52
Capacidade evaporativa do ar mensal (mm mês ⁻¹)	98,2	75,6	73,7	58,3	52,9	49,4	64,0	72,9	68,6	84,4	103,1	118,0	919,2
Evaporação de água livre (mm mês ⁻¹)	134,8	101,3	98,3	69,4	53,0	42,5	51,1	68,7	73,3	87,1	115,8	138,6	1.030,7
Precipitação pluviométrica mensal (mm mês ⁻¹)	148,0	134,9	137,3	143,4	150,5	155,4	143,4	126,8	159,8	159,1	120,1	133,7	1.712,4
Número médio de dias com chuva	11,1	11,2	10,1	11,2	11,0	13,0	12,6	11,2	10,9	11,1	9,4	9,4	132
Velocidade média do vento no mês (m s ⁻¹)	1,7	1,7	1,5	1,5	1,5	2,3	2,3	2,3	2,1	2,1	2,1	1,7	2,0
Valor mais baixo já registrado													
Menor precipitação mensal e anual (mm)	0,7	0,0	18,8	11,1	4,6	0,7	8,5	13,6	42,0	10,6	5,7	6,1	640
Ano da menor precipitação mensal e anual	1917	1989	1997	1929	1996	1925	1951	1993	1970	1924	1954	1942	1917
Menor evapotranspiração potencial diária (mm dia ⁻¹)	1,69	1,34	0,97	0,70	0,17	0,03	0,08	0,30	0,44	0,55	1,11	1,60	0,03
Menor média mensal de umidade relativa do ar (%)	56	65	71	72	76	77	73	71	72	66	57	54	54
Ano de ocorrência da menor média da umidade relativa	1986	1991	1988	1978	1978	1969	1988	1999	1980	1969	1971	1995	1995
Mais baixa umidade relativa às 15 horas de 1 dia (%)	20	23	20	30	25	30	26	24	25	23	21	17	17
Valor mais alto já registrado													
Maior precipitação máxima mensal e anual (mm)	471	462	342	616	471	351	359	333	363	477	514	357	2.953
Ano da precipitação máxima mensal e anual	1996	1934	2003	1941	1984	1981	1987	1972	1988	1997	1919	2003	1941
Precipitação máxima em 24 horas (mm dia ⁻¹)	123	119	175	182	153	182	105	97	108	145	98	156	182
Ano da precipitação diária máxima no mês	1996	1913	1912	1984	1984	1944	1976	1966	1979	1982	1966	2004	1984
Evapotranspiração potencial máx. absoluta (mm dia ⁻¹)	5,89	5,72	4,94	3,42	2,83	3,13	3,28	4,99	5,13	5,26	6,62	6,42	6,62
Maior média mensal de umidade relativa do ar (%)	80	84	89	86	89	89	87	87	82	83	82	76	89
Ano de ocorrência da maior média da umidade relativa	1977	1974	2003	2001	1983	2003	1983	1998	2002	1997	1997	2002	2003
Umidade relativa do ar às 15 horas (%)	98	99	99	98	99	100	99	100	99	100	99	98	100
Insolação diária máxima absoluta (horas dia ⁻¹)	13,0	12,6	11,9	11,0	10,6	9,9	10,3	10,9	11,6	12,4	13,0	13,3	13,3
Máxima capacidade evaporativa do ar (mm dia ⁻¹)	11,8	8,2	12,4	10,0	11,7	15,1	17,4	16,9	16,3	13,6	13,7	14,4	17,4
Rajada máxima absoluta de vento (m s ⁻¹)	30,8	24,7	26,5	30	31	32,3	34,6	30,5	39,2	37,4	33,5	28,5	39,2
Média das rajadas de vento máximas mensais (m s ⁻¹)	22,4	20,4	21,4	21,9	23,7	24,8	25	25,9	25	24,2	24	23,1	23,4

A maior precipitação mensal já registrada foi em maio de 1941, com 615,3mm; nesse mesmo ano ocorreu, também, a máxima precipitação anual (2.953,4mm). A menor precipitação mensal (0,0mm) foi registrada em fevereiro de 1989 e o menor total anual, com apenas 640,0mm, foi registrado no ano de 1917. Os valores mais altos já registrados em 24 horas também são elevados em todos os meses, com 97mm (agosto de 1966) até 182mm (abril e junho de 1984).

Salienta-se que 1,0mm de precipitação corresponde a um volume de 1,0 litro de água em uma área de 1,0m². Isso significa que no ano de 1941 em Santa Maria foram contabilizados 29.534m³ de água por hectare, e que no mês de abril desse mesmo ano precipitaram-se em média 20,5 litros de água por m² por dia. Para a região, trata-se de um volume extraordinário, fenômeno que pode se repetir; nesse caso, haveria devastação maior do que aquela observada em 1941, porque parte dos solos da região apresenta-se com menor capacidade de infiltração de água, devido ao manejo inadequado na prática da agricultura. Por outro lado, uma precipitação anual média de apenas 640mm, como a que ocorreu em 1917, levaria o clima de Santa Maria aos limites próximos dos climas secos de estepe.

Na análise da tendência secular da precipitação pluviométrica, utilizando o período de observação de 1912 a 2005, constatou-se não haver tendência secular de aumento ou diminuição da precipitação, ou seja, para os totais anuais de chuva, a série histórica de Santa Maria é estacionária.

A precipitação de granizo é eventual, existindo inclusive locais dentro do município em que nunca foi observada. Considerando os registros para o município, verificam-se em média dois eventos de granizo por ano.

O granizo é formado em áreas onde há fortes correntes ascendentes de ar, decorrentes da passagem sobre o local de um sistema de depressão barométrica acentuada (denominada linha de instabilidade), associada à condição de forte instabilidade térmica, a qual é maior no período da tarde. Essa é a explicação meteorológica para o fato de o granizo ser mais frequente no período da tarde. Em Santa Maria, 47% dos eventos de granizo registraram-se entre 12 e 18 horas, 24% entre 18 e 24 horas, 20% entre seis e doze horas e apenas 9% entre zero e seis horas. Os meses com maior frequência de granizo são, pela ordem: setembro, dezembro, janeiro e junho. Por sua vez, os meses de maio, fevereiro, março e abril são os que apresentam menor ocorrência do fenômeno.

Embora o granizo seja um evento raro, aleatório e que abrange pequenas áreas (apenas alguns km²), em geral causa grandes danos nas áreas atingidas, principalmente nos cultivos agrícolas. Pedras de granizo com diâmetro de dois centímetros são grandes o suficiente para danificar coberturas de telhas de fibrocimento de 6mm de espessura. Eventos extremos de granizo, como o registrado em agosto de 1997, com pedras de gelo do tamanho de um ovo de galinha, são capazes de destruir quase tudo o que atingem, inclusive telhas francesas comuns, e matar animais de pequeno e médio porte, podendo inclusive ferir pessoas. Portanto, durante a ocorrência do granizo deve-se ficar abrigado; quanto às residências (e demais edificações), devem ter no mínimo um forro de madeira ou de PVC (Policloreto de vinila) abaixo do telhado para melhor proteger as pessoas em caso de dano.

Umidade relativa do ar

A umidade relativa do ar (UR) constitui um dos parâmetros de quantificação do conteúdo de vapor de água na atmosfera. A UR varia de 0 a 100% e é definida como sendo o quociente entre o conteúdo atual de vapor de água (que pode ser expresso pela pressão parcial de vapor d'água ou pela umidade específica) e o conteúdo máximo de vapor de água que a atmosfera pode conter a uma dada temperatura (que pode ser expresso pela pressão de saturação de vapor ou pela umidade de saturação). Assim, a umidade relativa do ar diminui com o aumento da temperatura. Como consequência do regime pluviométrico isoigro e da variação da temperatura ao longo do ano, Santa Maria tem um clima subtropical úmido, com umidade relativa do ar elevada durante todo o ano.

Os valores médios de UR atingem um máximo de 85% em abril e um mínimo de 75% em janeiro,¹¹ porém, considerando o período mais recente de 1969-2004, a UR média anual em Santa Maria é de 77%, variando de 60% em dezembro a 83% em maio e junho (tabela 2). Considerando as quatro estações do ano, a UR é maior no outono e no inverno e menor na primavera e no verão. O mês com a menor UR média registrada no período 1969-2004 foi dezembro de 1995, com 54%, e os meses com a maior UR média já registrada (89%), foram março de 2003, maio de 1983 e junho de 2003. O menor valor absoluto de UR média diária (26%) foi verificado no dia 22/08/1975 e o maior valor absoluto de UR média diária (99,5%) deu-se

¹¹ MACHADO, F. P. *Op. cit.*
MORENO, J. A. *Op. cit.*

em 12/07/1980 e em 20/06/1984. Salienta-se que o cálculo da média diária da UR é feito com as observações das 9 (UR_{9h}), 15 (UR_{15h}) e 21 horas (UR_{21h}), utilizando a equação $(UR_{9h} + UR_{15h} + 2*UR_{21h})/4$.

A curva diária de UR tem variação inversa à da temperatura do ar, ou seja, nos horários próximos à temperatura mínima (que geralmente ocorre de madrugada e principalmente no crepúsculo da manhã), a UR é elevada; nos horários próximos à temperatura máxima (à tarde), a UR é a mais baixa do dia. Assim, os valores de UR às 9h e às 21h são geralmente maiores que às 15h. No período 1969-2004, às 9h, o menor valor de UR foi de 27% nos dias 21/08/1971, 25/07/1980 e 24/08/1988; por outro lado, o maior valor de UR neste horário, de 100%, foi registrado em 47 dias diferentes. Às 15h, o menor valor de UR, 17% (tabela 2), deu-se no dia 06/12/1995, enquanto o maior valor, 100%, ocorreu em 4 dias (09/08/1994, 07/10/1995, 17/06/1996 e 29/06/2000). Já às 21h, o menor valor de UR não ultrapassou 25% no dia 22/08/1975, enquanto o maior valor atingiu 100% em 19 dias.

Vento

O vento é o ar em movimento no sentido horizontal ou paralelo à superfície. Movimenta-se de um local para outro por diferença horizontal de pressão atmosférica, movendo-se dos locais de alta pressão para locais de baixa pressão. Santa Maria é frequentemente atingida por ventos de diferentes quadrantes, porém, predominam os de E (Este) e de ESE (Este-Sudeste) como segunda maior frequência, com velocidade média anual de $1,9 \text{ m s}^{-1}$.¹²

A região tem como ventos locais o vento Sudestado ou Carpinteiro, o vento Minuano e o vento Norte ou São Martinho. Esses três ventos locais resultam da circulação geral e secundária da atmosfera que atuam no Estado do Rio Grande do Sul.

O vento Sudestado é predominante em Santa Maria, como em todo o Estado. Trata-se de um vento frio e úmido, com direção média do quadrante leste, podendo variar desde a direção sul até nordeste, com maior frequência de direção sudeste, o que explica o seu nome. Quanto à velocidade, geralmente é de intensidade fraca a moderada. Origina-se do Anticiclone Permanente (alguns autores o classificam como Semi-permanente) do Atlântico Sul. Por isso é um vento frio e úmido, já que a posição média deste anticiclone verifica-se sobre as águas relativamente frias do Oceano Atlântico Sul.

¹² MACHADO, F. P. *Op. cit.*
MORENO, J. A. *Op. cit.*

O vento Minuano caracteriza-se como frio e seco, com direção média do quadrante oeste, podendo a direção variar desde noroeste até sudoeste. A velocidade geralmente é fraca a moderada. O Anticiclone Migratório Polar (AMP), que se origina no continente antártico, invade o continente sul-americano numa frequência média semanal. Quando o AMP é forte (a pressão atmosférica no seu centro é elevada devido à baixa temperatura), invade o continente sul-americano pelo Oceano Pacífico e transpõe a Cordilheira dos Andes, entrando no sul do Brasil pelo oeste do Rio Grande do Sul, dando origem ao vento Minuano. Com duração variável, desde algumas horas até dois ou três dias, pode ocorrer em qualquer época do ano. A esse vento está associada uma queda acentuada da temperatura e condição de céu límpido especialmente à noite. Quando cessa o Minuano, isso significa que o centro do anticiclone migratório polar está sobre o Rio Grande do Sul, e que durante a noite as temperaturas no verão podem diminuir a 12-15°C e, no inverno, a valores menores que 0°C, formando o fenômeno da geada branca radiativa.

O vento Norte tem como características ser quente e seco, com direção média do quadrante norte, podendo a direção variar desde nordeste a noroeste. É o vento com maior velocidade (moderada a forte), atingindo com frequência rajadas acima de 50km/h, especialmente de madrugada e no início da manhã. Sua duração é variável desde algumas horas até sete dias e pode ocorrer em qualquer época do ano. É comum causar danos mecânicos por fadiga à vegetação e às estufas plásticas e construções pouco estruturadas. O dito popular “após três dias de vento Norte tem-se chuva” é bastante conhecido entre os santa-marienses; sua explicação fundamenta-se no fato de que o vento também tem como origem o AMP, porém a organização sinótica durante sua ocorrência em Santa Maria (como em todo o Estado do Rio Grande do Sul) se caracteriza pela presença da alta pressão do AMP sobre a região Sudeste do Brasil e sobre o Oceano Atlântico adjacente e um sistema de baixa pressão sobre o Uruguai e Argentina. As altas temperaturas e a baixa umidade relativa do ar em dia de vento Norte estão associadas às condições de superfície em que o ar se desloca desde seu centro de origem, em áreas tropicais e sobre o continente.

Em Santa Maria, o vento Norte tem maior velocidade e maior temperatura em relação a outras cidades do Rio Grande do Sul devido ao fator orográfico. A cidade está situada no sopé da Serra Geral que separa o Planalto Médio

da Depressão Central, localizando-se a barreira orográfica ao norte da cidade (figura 1). O vento Norte, ao descer a escarpa do Planalto, sofre aumento na velocidade e se aquece por compressão adiabática à medida que desce a níveis inferiores, onde a pressão atmosférica é maior. A diferença de nível entre a cidade e o topo da escarpa é de aproximadamente 400 metros (figura 1), o que gera um aquecimento médio de 4°C. Quando o vento Norte ocorre no inverno, os santa-marienses presenciam um fenômeno bastante incômodo: “as paredes suam”, o que é uma expressão inadequada. O fenômeno se caracteriza pela presença de água na forma líquida em paredes e assoalhos das edificações. A água é resultado do contato entre o ar quente e essas superfícies de temperatura baixa; em contato com a superfície fria, o ar se esfria e atinge a temperatura do ponto de orvalho, ocorrendo condensação de parte do vapor de água presente no ar. Havendo renovação do ar sobre a superfície, o processo de condensação pode-se estender por um ou mais dias, até que a temperatura das superfícies se eleve acima da temperatura do ponto de orvalho. Isto significa que, embora a umidade relativa do ar seja baixa em dias de vento norte, a pressão atual ou parcial de vapor de água é alta. Como a temperatura do ar é elevada, a pressão de saturação fica muito mais elevada que a pressão parcial de vapor; assim a umidade relativa é baixa, pois é o quociente entre as duas pressões de vapor anteriores. Marco cultural de Santa Maria, o vento Norte possui, em sua homenagem, um monumento numa das principais avenidas da cidade.

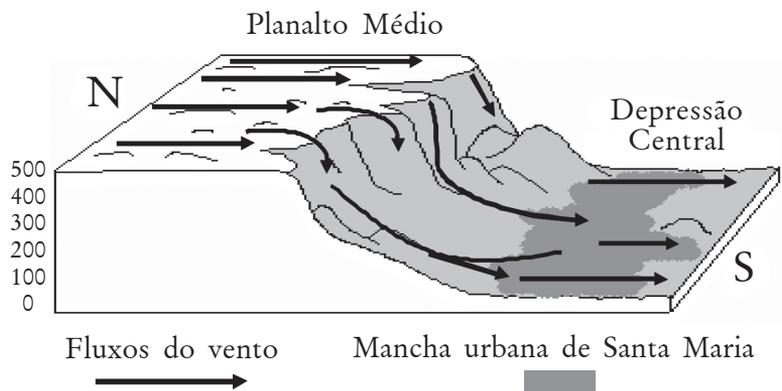


Figura 1: Representação esquemática da localização da cidade de Santa Maria e da orografia ao seu redor que influencia nas características do vento Norte. Baseada em diagrama publicado no jornal *Diário de Santa Maria*, 8 e 9/7/2006.

¹³ HELDWEIN, A. B.; STRECK, N. A.; BURIOL, G. A.; SANDRI, M. A.; TRENTIN, G.; SPOHR, R. B.; SILVA, J. C.; ALBERTO, C. M. & FÁRIA, N. S. Frequência de ventos fortes em Santa Maria, RS. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, v. 11, p. 285-291, 2003.

Em uma análise das rajadas diárias e horárias de vento em Santa Maria, Heldwein *et al.*¹³ verificaram que os valores médios das rajadas máximas horárias são maiores no período entre 10h e 18h, com média máxima de 6,8m/s (24,5km/h) entre 14h e 15h, enquanto que por volta das 20h e durante a madrugada, ocorrem os menores valores. Quando há vento Norte, as maiores rajadas durante o período diário tendem a se concentrar mais cedo, em geral das 4h às 12h, quando os santa-marienses “acordam com portas e janelas batendo”. Com relação às estações do ano, as rajadas durante todo o dia têm menor velocidade no outono, porém são mais fortes na primavera, durante o período diurno. Apesar de a direção predominante do vento ser do quadrante leste, as rajadas de vento forte são mais frequentes quando de direção norte, alcançando muitas vezes valores acima de 20m/s (72km/h). Os vendavais são mais comuns de julho a novembro e menos frequentes de dezembro a fevereiro. Rajadas com velocidade maior do que 100km/h (27,8m/s) ou maior que 108km/h (30m/s), classificadas como de tempestade e furacão, respectivamente, ocorrem com alguma frequência, observado-se 20 eventos diários com rajadas maiores que 30m/s em 24 anos de registro. Os dois eventos de maior velocidade registrados em Santa Maria foram de 37,4m/s (134,6km/h) e 39,2m/s (141,1km/h), respectivamente, em 13/10/1999 e 11/09/2002; ocorridos no período da manhã, tiveram direção sul e foram acompanhados de várias rajadas com velocidade maior que 28m/s (100,8km/h), contrariando a tendência geral de maior velocidade do vento no período da tarde. Estes dois eventos estiveram associados a uma intensa instabilidade local no interior da frente fria, evidenciando o caráter aleatório e extremamente variável dos vendavais na região.

Evaporação e evapotranspiração

Conceitua-se evaporação potencial da água (E) como aquela que atende integralmente a demanda atmosférica. Ocorre sobre as superfícies de água livre no estado líquido, em condições naturais, como em açudes e lagos. É um processo físico de mudança da água do estado líquido para o estado de vapor, em que ocorre consumo de energia, denominado calor latente de evaporação. Por isso a evaporação depende da densidade de fluxo da radiação solar (R_g) e, por consequência, da temperatura do ar (t). A evaporação também é diretamente dependente do déficit de saturação de vapor d'água no ar próximo à superfície (d).

No momento em que ocorre a saturação do ar na atmosfera adjacente à superfície da água, a evaporação cessa, porém, o vento (u) atua como agente transportador do vapor da água, evitando que o ar contíguo se sature. Assim, a evaporação (E) é uma função (f) destes quatro elementos meteorológicos: $E = f(R_g, t, d, u)$, principalmente da radiação solar e do déficit de saturação do ar.

A determinação direta da evaporação em lagos e açudes é difícil de ser realizada. Mede-se, geralmente, a evaporação da água em superfícies de pequenas dimensões como tanques. Um dos tanques recomendados pela Organização Meteorológica Mundial é o de Classe A, que em climas úmidos, tais como o de Santa Maria, é instalado 20cm acima do solo relvado.¹⁴ No entanto, nos tanques a evaporação é maior do que em uma superfície extensa de água livre, em função do efeito advectivo.¹⁵ Assim, para estimar a evaporação de uma superfície de água de grande extensão, como a de um lago ou de uma represa, é necessário corrigir os dados medidos no tanque Classe A através de um fator redutor, denominado coeficiente de tanque (K_p).

Em análise dos dados de evaporação no período 1978-2005, registrados na estação meteorológica de Santa Maria, corrigidos pelo coeficiente de tanque, verificou-se que os totais médios mensais de evaporação da água em açudes e represas são maiores em dezembro (139,2mm) e menores em junho (43,4mm). O desvio padrão é maior nos meses mais quentes do ano e menor nos meses mais frios. O contrário acontece com o coeficiente de variação. Isso indica que a evaporação tem maior variação absoluta e menor variação relativa nos meses quentes e o inverso nos meses mais frios. No período 1978-2005, o valor mensal mais baixo já registrado ocorreu em junho de 1989 (25,5mm); e o mais elevado, em dezembro de 1985 (195,5mm), coincidindo com a variação das médias dos totais mensais.

As diferenças entre os totais mensais e anuais extremos de evaporação são consideradas elevadas. Os totais extremos mais elevados em relação à média verificam-se naqueles meses e anos com um acúmulo de dias de intensa demanda atmosférica, principalmente, em períodos sem precipitação pluviométrica e com altas temperatura do ar ou, ainda, por ocasião de vários dias com vento forte. Inversamente, os totais extremos mais baixos em relação à média ocorreram nos meses e/ou anos com períodos de baixa demanda evaporativa do ar, consequência de dias com precipitação pluviométrica e/ou com céu encoberto, temperatura baixa e vento calmo.

¹⁴ OMETTO, J. C. *Bioclimatologia vegetal*. São Paulo: Editora Agronômica Ceres, 1981. 440 p.

¹⁵ OMETTO, J. C. *Op. cit.* PEREIRA, A. R.; VILLA NOVA, N. A. & SEDIYAMA, G. C. *Evapo(transpiração)*. Piracicaba: FEALQ-USP, 1997. 183 p.

Confrontando-se as médias dos totais mensais de evaporação com aqueles de precipitação pluviométrica, constata-se que estes são superiores àqueles da evaporação em todos os meses do ano. Mas, conclui-se que, por causa da grande variabilidade dos totais mensais de precipitação pluviométrica, em alguns anos a evaporação pode ser mais elevada que a precipitação, em especial nos meses de verão. Os totais mensais de precipitação pluviométrica tem variabilidade maior que os totais mensais de evaporação, indicando que pode haver anos com totais mensais de precipitação pluviométrica abaixo dos totais mensais de evaporação.

A evapotranspiração potencial (ETP) é a perda potencial de água na forma de vapor de uma superfície gramada sob condições de ótimo suprimento de água pelo solo, sendo a água perdida para a atmosfera pelos processos de evaporação na superfície do solo e, principalmente ($\approx 90\%$), pelo processo de transpiração das plantas. Também denominada de evapotranspiração de referência (ET_o), é utilizada sobretudo no cálculo do balanço hídrico do solo, com a finalidade de avaliar a disponibilidade de água para as plantas ao longo do ano. No balanço hídrico, a ETP é a variável que descreve a saída de água causada pela demanda atmosférica e a precipitação representa a reposição de água no solo.

O valor da evapotranspiração potencial pode apresentar pequenas diferenças em função do método utilizado para sua determinação. O método de Thornthwaite, por utilizar apenas valores mensais de temperatura do ar, em geral estima valores de ETP maiores do que os valores mensais acumulados obtidos pelo método de Penman-Monteith, recomendado pela FAO, principalmente no verão e no outono. Assim, se forem considerados os valores calculados por Buriol *et al.*¹⁶, serão obtidas médias ligeiramente maiores do que as apresentadas na tabela 2. Considerando os valores obtidos pelo método de Penman-Monteith para os últimos 38 anos (agosto de 1968 a julho de 2006) a partir de observações feitas no Departamento de Fitotecnia da UFSM, a média mensal da evapotranspiração potencial em Santa Maria é menor do que a da evaporação em todos os meses do ano (tabela 2). Essa relação decorre do fato de que a água perdida por transpiração em sua trajetória desde o solo até o limite externo das folhas encontra uma série de resistências ao seu fluxo.

O mês com maior média mensal de ETP é dezembro (126mm), similar a de janeiro (124mm), devido a maior disponibilidade de energia solar, a maior temperatura e a menor umidade relativa do ar nesses dois meses do ano

¹⁶ BURIOL, G. A.; ESTEFANEL, V.; SACCOL, A. V.; FONTANA, G.; FERREIRA, M.; SCHNEIDER, F. M.; AITA, L. & GIARETA, A. *Balanço hídrico seriado do Rio Grande do Sul*. Santa Maria: Departamento de Fitotecnia/CCR/UFSM, 1977.

(tabela 2). Junho e julho são os meses com a menor demanda de água pela atmosfera e, portanto, com menor ETP no ano, não alcançando 30mm por mês. Isso ocorre porque, ao contrário de dezembro e janeiro, além de serem os mais frios do ano, também apresentam maior umidade e menor disponibilidade de energia solar.

Os valores diários mais altos de ETP já determinados variam desde 2,8mm, em maio, até 6,6mm, em novembro, os quais foram registrados em dias quentes e secos, com céu límpido e ocorrência de vento Norte, ratificando que é a condição meteorológica diária que determina a magnitude da evapotranspiração potencial.

Deficiências hídricas

Santa Maria é afetada anualmente, mas de forma aleatória, por deficiências hídricas (DH) no solo, que aumentam de frequência e intensidade entre os meses de outubro e janeiro, decrescendo após até maio. No período de junho a setembro as deficiências hídricas são muito pouco prováveis e, quando eventualmente ocorrem, não ultrapassam 5,0mm.

Considerando os resultados de Buriol *et al.*¹⁷ e de Heldwein¹⁸ para balanço hídrico de solos com capacidade de armazenamento de água útil de 100mm, em 10% dos anos existe a probabilidade de ocorrer deficiência hídrica igual ou maior do que 10mm em outubro, 30mm em novembro, 55mm em dezembro, 50mm em janeiro, 35mm em fevereiro, 30mm em março, 22mm em abril e 5mm em maio. Os valores máximos absolutos de DH nesses oito meses alcançaram 41mm em outubro de 1983, 63mm em novembro de 1916, 110mm em dezembro de 1942, 129mm em janeiro 1932, 102mm em fevereiro 1945, 80mm em março de 1945, 58mm em abril de 1945 e 8mm em maio de 1966. Apesar desses valores por si só indicarem problemas sérios de disponibilidade de água em alguns anos, pelo menos nos meses de novembro a abril, o maior impacto é causado quando se tem deficiência hídrica acumulada por vários meses em sequência. Nesse sentido, 1944/1945 e 1967/1968 foram os anos agrícolas de maior deficiência hídrica já registrada: 427mm de DH acumulada em sete meses de estiagem contínua no período de novembro de 1944 até maio de 1945, e de 221mm durante os meses de estiagem de novembro de 1967 a fevereiro de 1968. Pode-se destacar ainda como muito secos os anos agrícolas de 1916/17 (176mm de outubro a fevereiro), de 1942/43

¹⁷ BURIOL, G. A.; ESTEFANEL, V.; SACCOL, A. V.; HELDWEIN, A. B. & SCHNEIDER, F. M. Disponibilidades hídricas do solo possíveis de ocorrerem no Estado do Rio Grande do Sul. *Revista do Centro de Ciências Rurais*, Santa Maria, v. 10 (suplemento), p. 1-141, 1980.

¹⁸ HELDWEIN, A.B. *Op. cit.*

(170mm de novembro a janeiro), de 1951/52, (180mm de dezembro a abril) e de 2004/05 (210mm de outubro a março). Portanto, períodos de seca são comuns em Santa Maria, devendo-se armazenar água em represas, açudes, cisternas, nos períodos em que ocorre excesso de precipitação. Da mesma forma, é necessário preservar os solos com práticas de manejo que mantenham ou mesmo melhorem sua capacidade de armazenar água, para tornar o efeito da seca menos drástico.

Os autores agradecem ao Oitavo Distrito de Meteorologia/ Instituto Nacional de Meteorologia por ceder os dados meteorológicos.

Arno Bernardo Heldwein é engenheiro agrônomo, doutor em Ciências Agrárias e professor titular do Departamento de Fitotecnia do Centro de Ciências Rurais da Universidade Federal de Santa Maria.

heldweinab@smail.ufsm.br

Galileo Adeli Buriol é engenheiro agrônomo, doutor em Ciências Agrárias e professor do Curso de Engenharia Ambiental da Universidade Franciscana (UNIFRA) de Santa Maria.

galileoburiol@yahoo.com.br

Nereu Augusto Streck é engenheiro agrônomo, PhD em Ciências Agrárias e professor associado do Departamento de Fitotecnia do Centro de Ciências Rurais da Universidade Federal de Santa Maria.

nstreck1@smail.ufsm.br

Considerações finais

Santa Maria é um dos locais mais quentes do estado do Rio Grande do Sul em função da sua continentalidade e baixa altitude. Mesmo assim, nos meses de abril a setembro, há registros de geadas fracas e moderadas. As chuvas são bem distribuídas e a evapotranspiração média é menor do que a média de precipitação e de evaporação. Sendo assim, a ocorrência das deficiências hídricas explica-se pela variabilidade da precipitação no tempo e pela maior evapotranspiração no período mais quente do ano. As deficiências hídricas são mais pronunciadas no verão em função da maior demanda hídrica da atmosfera e os excessos hídricos são maiores no inverno.

A umidade relativa do ar é elevada durante todo o ano, condicionando um clima úmido. Em função da alta frequência de nevoeiros, Santa Maria é um dos municípios do Rio Grande do Sul com menor disponibilidade de insolação e radiação solar. O vento Norte é marcante por sua elevada velocidade e temperatura, mas o vento predominante é o Sudestado.