



**Universidade Federal de Santa Maria – UFSM
Educação a Distância da UFSM – EAD
Universidade Aberta do Brasil – UAB**

**Curso de Pós-Graduação em Eficiência Energética
Aplicada aos Processos Produtivos**

Polo Panambi

**AVALIAÇÃO PRELIMINAR DA CONCENTRAÇÃO DE CO₂ EM FUNÇÃO
DA TEMPERATURA DO AR, UMIDADE E RADIAÇÃO SOLAR
EM SANTA MARIA/RS**

PAINES, Patrícia de Andrade¹

CAUDURO, Carlos Roberto²

¹ Ms. Engenharia de Produção pela Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria/RS e Doutoranda em Engenharia de Produção pela Universidade Federal de Santa Catarina/SC.

² Dr. Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre/RS. Professor Orientador da Universidade de Santa Maria, Santa Maria, RS.



**Universidade Federal de Santa Maria – UFSM
Educação a Distância da UFSM – EAD
Universidade Aberta do Brasil – UAB**

**Curso de Pós-Graduação em Eficiência Energética
Aplicada aos Processos Produtivos**

**AVALIAÇÃO PRELIMINAR DA CONCENTRAÇÃO DE CO₂ EM FUNÇÃO
DA TEMPERATURA DO AR, UMIDADE E RADIAÇÃO SOLAR
EM SANTA MARIA/RS**

Elaborada por
Patrícia de Andrade Paines

como requisito parcial para obtenção do grau de
**Especialista em Eficiência Energética Aplicada
aos Processos Produtivos**

COMISSÃO EXAMINADORA

Carlos Roberto Cauduro, Dr. (Orientador/UFSM)

Geomar Machado Martins, Dr. (Co-orientador/UFSM)

Isis Portolan dos Santos, Dra. (UFSM)

João Paulo Minussi, Dr. (UFSM)

SUMÁRIO

Lista de Figuras	4
Lista de Tabelas	5
Resumo	6
1. INTRODUÇÃO	7
1.1 Objetivos	9
1.1.1 Objetivo geral	9
1.1.2 Objetivos específicos	9
1.1.3 Justificativa	10
2. REFERENCIAL TEÓRICO	11
2.1 Variáveis climáticas	11
2.2 Variáveis ambientais	13
3. METODOLOGIA	20
3.1 Instrumentação	22
3.1.1 Sensor de temperatura e umidade relativa do ar	23
3.1.2 Sensor de pressão atmosférica	24
3.1.3 Sensor de radiação solar	25
3.1.4 Analisador de CO ₂ e H ₂ O	26
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	29
4.1 Dados meteorológicos	29
4.2 Análise dos dados	30
5. CONCLUSÃO	38
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	39

Lista de Figuras

Figura 1: Crescimento da concentração de CO ₂	8
Figura 2: Biomas do Rio Grande do Sul	14
Figura 3: Macrozoneamento Ambiental do Rio Grande do Sul	15
Figura 4: Bacias hidrográficas do Rio Grande do Sul	17
Figura 5: Sítio experimental de Santa Maria/RS	21
Figura 6: Torre micrometeorológica Eddy Covariance	23
Figura 7: Sensor de temperatura e umidade do ar	24
Figura 8: Barômetro	25
Figura 9: Piranômetro	26
Figura 10: Analisador de CO ₂ , vapor d'água e a pressão atmosférica	27
Figura 11: Unidade Auxiliar de Interface LI-7550 e LI-200	27
Figura 12: Central de aquisição e armazenamento dos dados	28
Figura 13: Médias de temperatura do ar registradas a cada 6 horas	31
Figura 14: Médias de radiação ativa incidente registradas a cada 6 horas	31
Figura 15: Médias de pressão atmosférica registradas a cada 6 horas	31
Figura 16: Médias de CO ₂ do ar registradas a cada 6 horas	32
Figura 17: Médias de H ₂ O do ar registradas a cada 6 horas	32
Figura 18: Dias de maiores concentrações de CO ₂ do ar	33
Figura 19: Médias de radiação ativa incidente e CO ₂ do ar	34
Figura 20: Médias diárias de temperatura do ar	35
Figura 21: Médias diárias de radiação ativa incidente	35
Figura 22: Médias diárias de pressão atmosférica	36
Figura 23: Médias de concentração de CO ₂ do ar	36
Figura 24: Médias diárias de concentração de H ₂ O do ar	37

Lista de Tabelas

Tabela 1: Principais combustíveis fósseis utilizados como energia primária _____ 8

Tabela 2: Produção dos principais cultivos de Santa Maria em 2012-2013 _____ 19

Tabela 3: Médias diárias de cada variável climática em fevereiro de 2013 _____ 29

RESUMO

Monografia de Especialização
Curso de Pós-Graduação em Eficiência Energética Aplicada aos
Processos Produtivos
Universidade Federal de Santa Maria

AVALIAÇÃO PRELIMINAR DA CONCENTRAÇÃO DE CO₂ EM FUNÇÃO DA TEMPERATURA DO AR, UMIDADE E RADIAÇÃO SOLAR EM SANTA MARIA/RS

AUTOR: PATRÍCIA DE ANDRADE PAINES
ORIENTADOR: CARLOS ROBERTO CAUDURO

Data e Local da Monografia: Santa Maria, 23 de fevereiro de 2015.

O estudo tem por finalidade analisar a concentração de dióxido de carbono (CO₂) atmosférico a partir de uma torre micrometeorológica instalada no município de Santa Maria/RS durante o período de 01 a 27 de fevereiro de 2013. Inicialmente foi feita a análise dos dados disponíveis de concentração de CO₂ e das variáveis ambientais que influenciam diretamente, tais como a temperatura do ar, radiação solar, pressão atmosférica e umidade do ar. Constatou-se durante o período diurno a elevada concentração média diária de 3632±422 µmol/m³ devido às mudanças climáticas do local. Este índice de CO₂ está relacionado à geração de energia por fontes fósseis e a falta de conscientização de uso eficiente de energia.

Palavras-chave: Concentração de Dióxido de Carbono, Torre Micrometeorológica; Variáveis Ambientais.

1 INTRODUÇÃO

O dióxido de carbono (CO_2) é um composto químico gasoso e um dos gases que mais pode contribuir para o efeito estufa, em torno de 60%, juntamente com o vapor d'água (H_2O), Metano (CH_4), Óxido de nitroso (N_2O) e Ozônio (O_3). São componentes naturais capazes de evitar que ocorram grandes oscilações de temperatura e também de absorver parte da radiação infravermelha emitida pela superfície Terra conhecidos como Gases de Efeito Estufa (GOLDEMBERG, 1998).

O efeito estufa é um fenômeno natural que interfere diretamente na temperatura da Terra, implicando na sua elevação maior do que seria na ausência de atmosfera. Na ausência do efeito estufa, a temperatura média da Terra seria de -18°C ao invés dos 15°C que temos atualmente (CPTEC/INPE, 2010).

Atualmente as altas concentrações de CO_2 na atmosfera, de acordo com Inventário Brasileiro de Emissões Antrópicas de Gases de Efeito Estufa (2010), estão contribuindo para o aquecimento/resfriamento global devido às algumas fontes, usos e processos.

No processo da respiração celular de animais, seres humanos e organismos vivos, o CO_2 é produzido a partir da reação de oxigênio com a glicose e liberado por meio da expiração para a atmosfera no processo de degradação da matéria orgânica realizada por microrganismos decompositores. Posteriormente, os vegetais absorvem esse gás para a realização da fotossíntese, processo pelo qual moléculas orgânicas são produzidas a partir da energia solar. Tais processos são partes fundamentais do ciclo do carbono. Além disso, esse gás também é liberado durante erupções vulcânicas.

De acordo com os Cadernos NAE (2005) outro processo contribuinte é a queima de combustíveis fósseis, o carbono armazenado é oxidado e liberado para a atmosfera em forma de CO_2 . Eles são responsáveis por cerca de 75% da energia primária mundial. Abaixo, a Tabela 1 mostra a participação em porcentagem geral (%) dos combustíveis fósseis atualmente consumidos como fonte primária mundialmente.

Tabela 1: Principais combustíveis fósseis utilizados como energia primária no mundo.

Combustíveis fósseis	Porcentagem geral (%)
Petróleo	32
Carvão	26
Gás	17
Biomassa	14
Hidroeletricidade	6
Fissão nuclear	5

Fonte: Caderno NAE (2005).

Nos últimos anos a concentração de CO₂ na atmosfera aumentou 27% como “fruto” da crescente queima de combustíveis fósseis na geração elétrica, e principalmente, a participação da atividade humana no setor indústrias e de transporte para o desenvolvimento econômico tende atualmente ser um dos mais elevados emissores de CO₂ do mundo. Outro fator preocupante é o desmatamento e queimas das florestas e mudanças no uso do solo.

De acordo com a Organização Meteorológica Mundial (OMM) a quantidade de CO₂ na atmosfera aumentou, em média duas partes por milhão por ano desde 2002, implicando no aumento na temperatura mundial de 3°C a 5°C. A Figura 1 representa o crescimento da concentração de CO₂ na atmosfera em ppm, desde o início da Revolução Industrial.

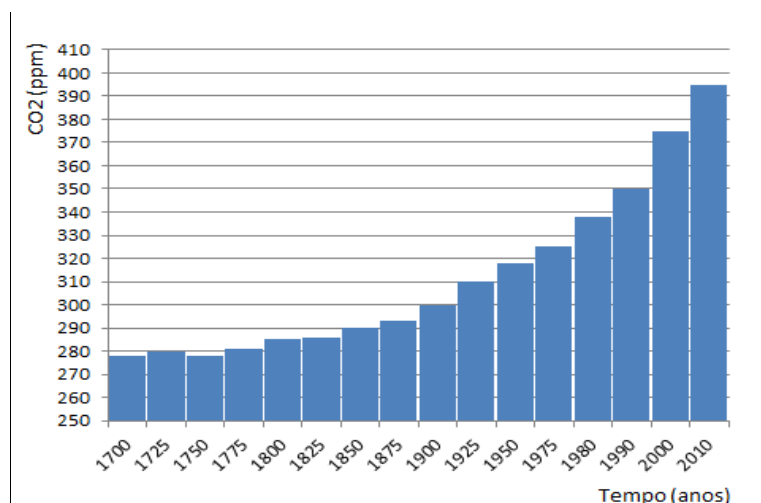


Figura 1: Crescimento da concentração de CO₂ na atmosfera.
Fonte: Organização Meteorológica Mundial (2013).

Estudos de Grace *et al.* (1995), o CO₂ apresenta um fluxo cíclico levando em consideração as 24 horas do dia. Durante o período diurno o fluxo é predominantemente negativo, significando assimilação do CO₂ atmosférico pelo ecossistema, e durante a noite o fluxo torna-se positivo, significando a emissão de CO₂ para atmosfera. Ambos os fluxos variam conforme as condições meteorológicas. Essas variações de fluxos de CO₂ são influenciadas por variáveis climáticas, como temperatura, umidade e radiação solar disponível na atmosfera, e também variáveis ambientais, como tipo de vegetação, relevo, clima, cultivo e solo do local.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

Estudar a concentração de CO₂ do ar na cidade de Santa Maria no estado do Rio Grande do Sul, a partir de dados de variáveis ambientais para quantificar o saldo de CO₂ atmosférico, evidenciando a eficiência energética nos processos produtivos e a preservação do meio ambiente.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Estudar o perfil de concentração de CO₂ no município de Santa Maria/RS;
- Verificar a influência das variáveis climáticas: temperatura atmosférica, umidade do ar, radiação ativa incidente e pressão atmosférica;
- Utilizar o número mínimo de variáveis ambientais atmosféricas que influenciam diretamente no perfil de concentração de CO₂.
- Analisar a faixa de variação diária do CO₂ do ar no mês de fevereiro.

1.1.3 Justificativa

Avaliar e relatar as mudanças nas condições climáticas atribuível à adição induzida pelo homem de gases provenientes da queima de combustíveis fósseis, desmatamento e mudanças nas práticas da produção agrícola. E mostrar o quanto um ecossistema local contribui para o aumento do dióxido de carbono na atmosfera.

O desafio é evitar o impacto das ondas de calor e eventos extremos do clima, devido à geração de energia por fontes fósseis (carvão, diesel e gás) a partir do desenvolvimento de projeto de eficiência energética e a possibilidade de instalação de uma planta de biomassa; uso de grupos motogeradores em larga escala ou instalação de painéis fotovoltaicos na cidade visando à redução de emissão de gases do efeito estufa e a contribuição à preservação do meio ambiente.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

As variações de fluxos de CO₂ são influenciadas por variáveis climáticas, como temperatura atmosférica, umidade do ar, pressão atmosférica e radiação solar disponível na atmosfera, e assim como as variáveis ambientais, como o tipo de vegetação, relevo, cultivo e solos do local.

A seguir uma breve contextualização das principais variáveis climáticas e ambientais que influenciam na variação do CO₂.

2.1 Variáveis climáticas

O dióxido de carbono (CO₂) é um "gás de efeito estufa." Ele absorve energia do Sol, e depois a devolve à atmosfera. Esse "efeito estufa" mantém a Terra mais quente do que seria se esse processo não ocorresse. As principais variáveis climáticas que influenciam diretamente no efeito estufa:

a) Temperatura atmosférica

O nível de dióxido de carbono na atmosfera está intimamente relacionado à temperatura global. As mudanças na concentração de CO₂ estão causando mudanças na temperatura, e assim como, influência das variações de temperatura na concentração de CO₂.

Um dos principais motivos para a queda no CO₂ atmosférico: à medida que as temperaturas caem é que oceanos mais frios são capazes de dissolver mais CO₂. Ou seja, há uma troca contínua de CO₂ entre a atmosfera e os oceanos, em que o gás é dissolvido ou liberado na atmosfera. Este equilíbrio é determinado em grande parte pela temperatura do ar.

Logo, as mudanças de CO₂ não podem ser a força propulsora para dar início a grandes mudanças climáticas. Porém, à medida que o clima esfria a concentração de CO₂ cai, causando resfriamento ainda maior. E, à medida que o clima está

esquentando, mais CO_2 é liberado na atmosfera, aumentando ainda mais as temperaturas globais e é chamado de alça de retroalimentação positiva (SEED, 2015).

b) Radiação solar

A evolução da temperatura na escala temporal é consequência da insolação (acumulação de energia solar) nas elevadas latitudes. A taxa de CO_2 varia ao longo do dia em função da incidência da radiação solar, oscilações da temperatura do ar e do solo. É possível correlacioná-las estatisticamente, mas isso não quer dizer que existam relações físicas entre elas.

Parte dos raios luminosos oriundos do Sol são refletidos para o espaço, e parte absorvidos e transformados em calor, mas só parte destes chega a Terra, em consequência da ação refletora que os chamados "Gases de Efeito Estufa" (dióxido de carbono, metano, cloro flúor carbonetos - CFCs e óxidos de azoto) têm sobre tal radiação reenviando-a para a superfície terrestre na forma de raios infravermelhos. A atmosfera é, assim, aquecida pela base e, como não se deixa atravessar facilmente pelas radiações emitidas pela superfície terrestre, dificulta a dissipação de calor nas altas camadas e impede que os resfriamentos noturnos sejam muito pronunciados (SO BIOLOGIA, 2014).

c) Umidade do ar

A umidade do ar conhecida também como vapor d'água ou quantidade de água suspensa no ar é uma das constituintes variáveis do ar atmosférico, segundo estudos de TUBELIS e NASCIMENTO (1986). Quanto maior a temperatura atmosférica, mais os oceanos esquentam e mais água evapora. Na forma de gás, a água tem muita capacidade de reter calor. É uma substância quase tão potente quanto o CO_2 na produção do efeito estufa. Quanto mais vapor d'água, mais calor retido na atmosfera - o que, por sua vez, deixa os oceanos ainda mais quentes, realimentando o processo.

Quando a temperatura sobe a umidade do ar e do solo diminui. A umidade do ar é a quantidade de vapor d'água em determinada quantidade de ar em um momento

específico. A umidade absoluta varia com a temperatura dentro de uma determinada margem para cima e para baixo, dificultando o entendimento do quanto determinada a umidade significa.

A concentração de vapor de água na atmosfera tende ao equilíbrio. A atmosfera só pode suportar mais vapor se as temperaturas em geral aumentarem. Por isso um pequeno aquecimento causado por emissões humanas de CO₂ irá aumentar a quantidade de vapor d' água na atmosfera.

2.2 Variáveis ambientais

O comportamento do ecossistema no local também influencia no nível de concentração de CO₂ do ar entre a superfície e atmosfera. As principais variáveis ambientais que influenciam na variação diária de CO₂ do ar em Santa Maria são:

a) Vegetação

A região de Santa Maria é muito extensa e abrange porções do planalto, mais precisamente as áreas de campo, de pequenas áreas coloniais e por parte da Depressão Central e da Campanha. Atua, portanto, sobre espaços bastante heterogêneos.

Também é considerada a cidade que detém o portal sul da Mata Atlântica e como Reserva da Biosfera, constituindo-se de uma grande biodiversidade, o que facilita a captação de recursos para potencializar a cultura e o consumo de produtos sustentáveis pela população do município.

Além da biodiversidade da vegetação, os biomas são classificados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) como “conjunto de vida” (vegetal e animal) constituído pelo agrupamento de tipos de vegetação contíguos e identificáveis em escala regional, com condições geoclimáticas similares e história compartilhada de mudanças, que resulta na diversidade biológica própria.

Pelo Mapa dos Biomas do Brasil elaborado pelo IBGE e pelo Ministério do Meio Ambiente, o país possui 5 grandes biomas: Amazônia, Pantanal, Cerrado, Caatinga, Mata Atlântica e Pampa. O Rio Grande do Sul (RS) conta com dois desses biomas que compõe o mapa do Brasil: o do Pampa e o da Mata Atlântica, sendo este último definido pela vegetação florestal predominante e relevo diversificado, enquanto o bioma Pampa é restrito ao Rio Grande do Sul e se define por um conjunto de vegetação de campo em relevo de planície.

O município de Santa Maria, devido a sua localização, possui características desses dois biomas, como pode ser verificado na Figura 2.



Figura 2: Biomas do Rio Grande do Sul.
Fonte: Santa Maria em Dados (2014).

A região de Santa Maria é ocupada pelos campos limpos e floresta subcaducifolia subtropical, esta é a última caracterização da Serra Geral, segundo estudos de Sartori, Maciel Filho e Menegotto (1978).

O centro da cidade, ocupando um ponto mais elevado, é um verdadeiro divisor d'águas que separa as mini bacias do Rio Vacacaí-Mirim e do Arroio Cadena. O Arroio Cadena nasce no rebordo do Planalto com direção inicial norte-sul. Na vertente leste, a

partir do divisor d'águas aparece o Rio Vacacaí-Mirim, que também nasce no Planalto. Sartori (1979) ressalta que o quadro geológico de Santa Maria apresenta de oeste para sudeste a topografia mais aberta e plana, não proporcionando nenhum obstáculo à circulação atmosférica, o que não ocorre nos demais setores.

b) Relevo

Segundo o macrozoneamento ambiental do Rio Grande do Sul, elaborado a partir de um cruzamento de dados que vai desde imagens de satélite, até comparação com mapas, foram identificadas 5 macrozonas (Planalto Meridional, Cuesta do Haedo, Depressão Central, Escudo Sul-rio-grandense e Planície Costeira) para o estado gaúcho como se observa na Figura 3.

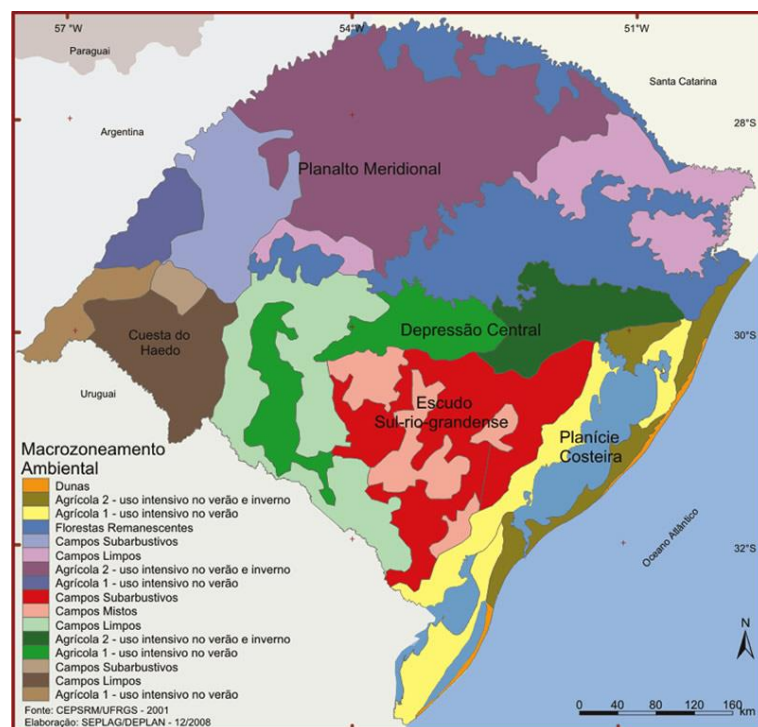


Figura 3: Macrozoneamento Ambiental do Rio Grande do Sul.
Fonte: Santa Maria em Dados (2014).

De acordo com Pereira (1989), Santa Maria situa-se numa zona de transição entre o Planalto Meridional Brasileiro e a Depressão Central do RS. O Planalto (formado basicamente por rochas sedimentares, tem seu relevo levemente inclinado, sendo sua

elevação de maior destaque a Serra Geral), uma zona agrícola de uso intensivo; e a Depressão Central, áreas de campos limpos e pastagens.

As grandes unidades classificatórias dessa zona de transição são: Topo do Planalto, Rebordo do Planalto, Coxilhas da Depressão Central e Planícies Aluviais da Depressão Central.

O Rebordo do Planalto configura-se numa área muito acidentada, apresentando-se como área de transição entre o Planalto e a Depressão Central do RS. O trabalho de erosão deu formas às montanhas e, onde o relevo residual resistiu a esta erosão, permaneceram os morros testemunhos isolados. É o caso dos morros testemunhos existentes em Santa Maria: o Mariano da Rocha, o Cerrito, o Cechela e o Santo Antão.

As Coxilhas da Depressão Central se apresentam na área de estudo caracterizada por baixas altitudes, entre 80 e 130 m e declividades de 6 a 14%. Suas colinas, também chamadas de “coxilhas pampeanas”, caracterizam-se pela suavidade de suas formas contínuas, aliadas à extensa planície da Depressão Central. As formações no Município são: a Caturrita, Santa Maria e Rosário do Sul.

As Planícies Aluviais da Depressão Central constituem-se basicamente de sedimentos recentes, depositados pela ação fluvial dos cursos d'água no seu leito maior. A origem desses materiais é do Planalto e seu Rebordo é do Escudo Sul-riograndense. Deles nascem os principais rios que drenam esses compartimentos interligados com seus afluentes, os quais, na maioria, originam-se nas coxilhas da Depressão Central. Com considerável área de ocupação, os depósitos fluviais recentes são parte do leito maior dos rios Ibicuí-Mirim, Vacacaí-Mirim e Vacacaí.

c) Clima

O clima de Santa Maria de acordo com a classificação de Köppen (1989) é temperado, chuvoso e quente tipo Cfa, no qual:

C – a temperatura média do mês mais frio, entre -3°C e 18°C, e a do mês mais quente superior a 10°C.

f – nenhuma estação seca, úmido todo ano.

a – verão quente, com temperatura média do mês mais quente superior a 22°C.

O clima é considerado do tipo mesotérmico brando assim como a maior parte do estado, as temperaturas não são tão baixas no inverno em relação a outras regiões de altitudes mais elevadas, a exemplo da Serra Gaúcha.

Estimativas dão conta que as temperaturas mínimas atingem valores negativos no inverno (principalmente nos dias de junho e julho, durante a madrugada), chegando a -5°C . Já no verão (nos meses de janeiro e fevereiro) as temperaturas são próximo a 40°C .

d) Solos

O território do RS é formado por três grandes bacias hidrográficas: a Bacia do Uruguai, a bacia do Guaíba e a Bacia Litorânea. Santa Maria situa-se de modo que abrange as duas primeiras bacias, conforme as Figura 4.

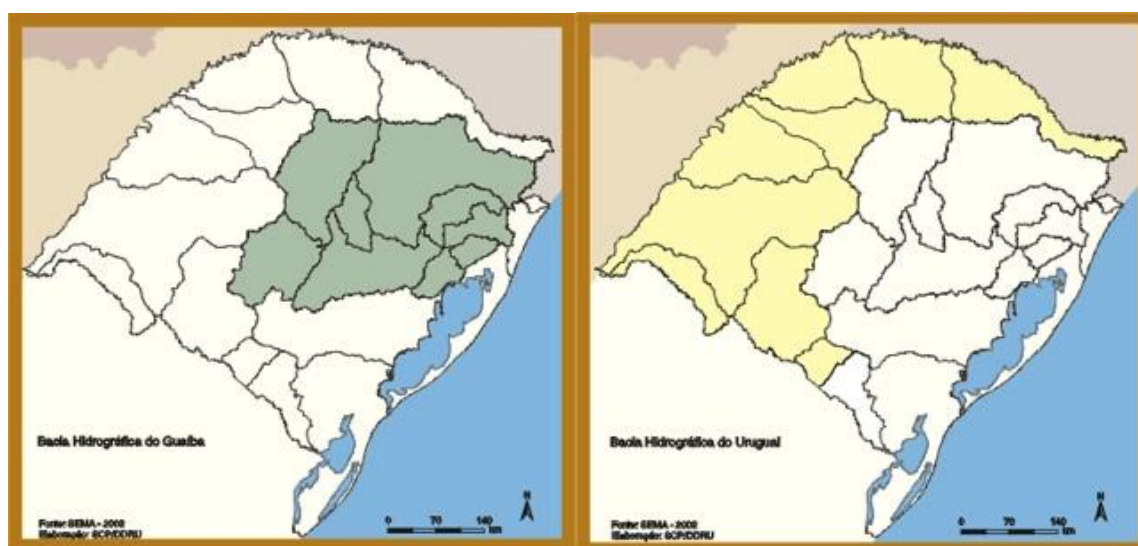


Figura 4: Bacias hidrográficas do Rio Grande do Sul.
Fonte: Santa Maria em Dados (2014).

O uso do solo da Bacia do Uruguai está vinculado principalmente às atividades agropecuárias e agroindustriais. Já a Bacia do Guaíba, apresenta áreas de grande concentração industrial e urbana, sendo a mais densamente povoada do Estado, além de sediar atividades diversificadas incluindo indústria, agropecuária e agroindústria, entre outras.

No RS a gestão dos recursos hídricos vem alcançando importantes avanços com a instalação dos Comitês de Gerenciamento de Bacias Hidrográficas. Santa Maria faz parte da lista desses comitês, cujo trabalho visa definir instrumentos de planejamento e gestão dos recursos hídricos, promovendo a sua recuperação e conservação.

Segundo Sartori, Maciel Filho e Menegotto (1978), o município apresenta rochas basálticas e os produtos de suas alterações provocam no solo de Santa Maria grande atuação de agentes erosivos. Conforme Bortoluzzi (1974), ao extremo sul da área urbana, desenvolvem-se grande número de “sangas”, principalmente após as chuvas, tornando-se áreas de depósitos favoráveis a retiradas de fósseis.

A ação erosiva da drenagem foi um dos principais fatores responsáveis pela formação de vales e de morros testemunhos no município de Santa Maria, construindo a formação ambiental que hoje se conhece. Além das ações erosivas constatadas, Sartori e Gomes (1980) revelam que para a formação da Serra Geral, houve duas sequências vulcânicas.

Segundo Ab’Saber (1970) o município de Santa Maria compreende dois tipos de domínios que revelam características diferentes de solo: o domínio das araucárias, tendo decomposição de rochas, restrita em profundidade; e sob domínio das pradarias, o município compreende fraca decomposição de rochas e grandes banhados. Castillero (1984) afirma que os solos do município caracterizam-se por serem muito diversificados. De forma geral, predominam os solos profundos com texturas arenosas e bem drenados. Outros tipos de solos se caracterizam pela textura média, má drenagem e mediana profundidade.

e) Cultivo

O tipo climático do município de Santa Maria é subtropical, com temperatura média anual em torno de 19°C. As médias de temperaturas mais baixas são verificadas nos meses de julho e agosto. No inverno são comuns as geadas. A importância de se conhecer o clima, o local e o regime das temperaturas se deve à íntima relação destes com o espaço físico e a organização do espaço agrário.

Dentre os cultivos que mais se destacam em lavouras permanentes, atualmente, estão o caqui, a laranja, o limão, a pêra e a tangerina. O município também conta com lavouras temporárias, destacando-se, atualmente, o arroz, a cana-de-açúcar, a mandioca, o milho e a soja.

Tais dados são comprovados na Tabela 2, que evidencia o percentual de participação dos cultivos citados acima na produção total, tomando como referência o ano de 2012-2013.

Tabela 2: Produção dos principais cultivos de Santa Maria em 2012-2013.

Tipos de lavoura	Cultivo	Produção (toneladas)	Porcentual (%)
Lavouras Permanentes	Goiaba	28	3,10
	Laranja	450	49,89
	Limão	27	2,99
	Tangerina	127	14,08
	Uva	150	16,63
	Outros	120	13,30
	Total	902	100,00
Lavouras Temporárias	Arroz	57.510	47,02
	Mandioca	9.450	7,73
	Milho	5.310	4,34
	Soja	42.000	34,34
	Outros	8.047	6,58,
	Total	122.317	100,00

Fonte: IBGE (2012).

Percebe-se pela análise da Tabela 2 que, para as lavouras permanentes, no ano de 2012, o cultivo da laranja e da uva são os cultivos de maior participação, representando 49,89% e 16,63%, respectivamente, da produção total.

Já para as lavouras temporárias tem-se a arroz e o soja, sendo responsáveis por 47,02% e 34,34% da produção total em 2012, respectivamente, conforme informações disponíveis do IBGE (2012).

3 METODOLOGIA

Para uma melhor compreensão e representação das possíveis mudanças climáticas associadas ao aumento da concentração de carbono e medidas dos fluxos de CO₂ entre a superfície e a atmosfera em diferentes biomas e ecossistemas, são fundamentais o monitoramento de áreas, como cultivo agrícola, pecuária, silvicultura, mata atlântica e reserva ambiental.

No Brasil diversas instituições de estudo e pesquisa possuem equipamentos de investigação. No RS conjunto de torres micrometeorológicas instrumentadas com sensores padrões, efetuam medidas a uma alta taxa amostral em importantes ecossistemas da região visando à criação e manutenção de uma Rede de Fluxos Superficiais no Sul do Brasil (SULFLUX).

O presente estudo pretende obter informações a partir de observações de longo período de dados climáticos e suas interações entre a superfície e a atmosfera para quantificar o saldo de transferência de CO₂ e outras grandezas físicas no estado. As observações fornecem dados de alta qualidade para inicializarem e validarem modelos numéricos, de clima e superfície, para o estado mais meridional do Brasil.

A Rede Sul-brasileira de Fluxos Superficiais e Mudança Climática tem a sua sede nas dependências do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais (CRS - INPE) localizado na Universidade Federal de Santa Maria (UFSM).



Figura 5: Sítio experimental de Santa Maria/RS.
Fonte: A autora.

O município de Santa Maria está localizada na Região Sul do Brasil, chamada de Depressão Central do Rio Grande do Sul, com coordenadas geográficas de latitude Sul $29^{\circ}41'02''$, longitude Oeste $53^{\circ}48'25''$ e altitude média comparando com o nível do mar, de 113 metros ao Norte do município, variando a altitude máxima de 485 metros na região de Arroio Grande, divisa com município de Silveira Martins próximo a localidade de Val de Buia.

Os dados meteorológicos e medidas de CO_2 atmosférico foram coletados a partir de uma torre micrometeorológica de 3 metros de altura (cerca de 6 metros do nível do solo), durante o período de 01 a 27 de fevereiro de 2013, instalado no prédio do

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e de referencia ao projeto de instalação de um sítio experimental no local.

O princípio de funcionamento da torre micrometeorológica consiste na composição de sensores de alta precisão e qualidade que garante o estudo e validação dos dados, por meio de comparação das medições realizadas em outros locais.

3.1 Instrumentação

Para quantificar as grandezas de concentração de CO₂ e registro das medidas diárias das variáveis explicativas de maior interesse, utiliza-se a torre micrometeorológica *Eddy Covariance* (método utilizado para o cálculo dos fluxos de energia e massa), com estrutura metálica com 3 metros de altura, constituída pelos seguintes instrumentos e sensores:

- a) Temperatura do ar (°C) e Umidade do ar (%);
- b) Anemômetro (m/s);
- c) Piranômetro (Kj/m²);
- d) Analisador de CO₂ do ar e H₂O do ar (µmol/m³);
- e) Barômetro (mbar).



Figura 6: Torre micrometeorológica *Eddy Covariance*
Fonte: A autora.

3.1.1 Sensor de temperatura e umidade relativa do ar

As medidas de temperatura e umidade relativa do ar foram feitas a partir do sistema de covariância de vórtices, composto por um anemômetro sônico tridimensional *Campbell Scientific -CSAT3*, que mede as duas componentes horizontais e uma componente vertical do vento, e a temperatura virtual do ar. Para suporte e

comparação dos dados registados, foram instalados os sensores de temperatura e umidade absoluta do ar, modelo *HMP45C Vaisala*.



Figura 7: Sensor de temperatura e umidade do ar.
Fonte: A autora.

3.1.2 Sensor de pressão atmosférica

Utilizou-se como auxílio o sensor de pressão atmosférica *Vaisala PTB110* que permite o registro de medições precisas da pressão barométrica em temperatura ambiente e o monitoramento da pressão ambiental geral em um amplo intervalo de temperaturas.



Figura 8: Barômetro.
Fonte: A autora.

3.1.3 Sensor de radiação solar

Para às medidas de radiação solar de onda curta incidente foi utilizado um piranômetro *Kipp & Zonen PAR LITE* (do inglês – *Photosynthetically Active Radiation*), com precisão de $0,1^{\circ}\text{C}$, formado por um conjunto composto de sensores de radiação solar global (resultante da total e difusa) e fotossinteticamente ativa, instalado a 8 m de altura do solo.



Figura 9: Piranômetro.
Fonte: A autora.

3.1.4 Analisador de CO₂ e H₂O do ar

Já para as medidas de concentração CO₂ e H₂O do ar, ou seja, medição das densidades molares de CO₂, vapor d'água e a pressão atmosférica foi utilizado um analisador de gás infravermelho de caminho aberto e fechado, modelo *LICOR - LI-7200 e 7550 CO₂/H₂O Analyser*, instrumento para medidas instantâneas das concentrações de dióxido de carbono e vapor d' água na atmosfera, instalado a 8 m de altura do solo.



Figura 10: Analisador de CO₂, vapor d'água e a pressão atmosférica.
Fonte: A autora.

Esse analisador é composto pela *Unidade Auxiliar de Interface do LI-7550* e *Unidade Auxiliar de Interface do LI-200*, para conexão dos cabos dos sensores, assim como coleta de dados de entrada e saída, permitindo comunicação a computador via USB, facilitando o acesso de softwares específicos do analisador e planilhas eletrônicas.



Figura 11: Unidade Auxiliar de Interface LI-7550 e Unidade Auxiliar de Interface LI-200.
Fonte: A autora.

As variáveis ambientais temperatura do ar, umidade relativa do ar, pressão atmosférica e a densidade molar de vapor d'água e CO₂ foram amostradas a uma frequência de 10 Hz, ou seja, 10 dados registrados por segundo. A aquisição e armazenamento dos dados utilizados no estudo foi realizado por um *Datalogger*, modelo *Campbell Scientific*, central principal de coleta de dados correspondente ao período 01 a 27 de fevereiro de 2013.

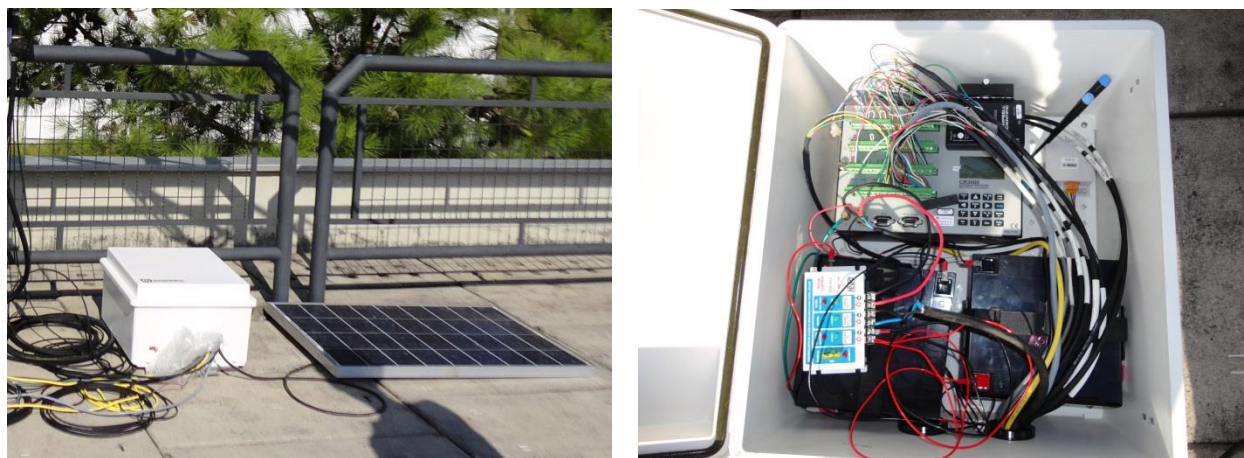


Figura 12: Central de aquisição e armazenamento de dados.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Dados meteorológicos

As variações diárias das variáveis climáticas foram registradas em intervalos de tempo horas para todo o período de operação da torre. A Tabela 3 apresenta as médias diárias das variáveis climáticas consideradas no estudo em Santa Maria em fevereiro de 2013, obtidas com a torre micrometeorológica de Santa Maria.

Tabela 3: Médias diárias de cada variável climática em fevereiro de 2013.

Dias	Temperatura °C	CO ₂ μmol/m ³	H ₂ O μmol/m ³	Pressão mbar	Radiação Kj/m ²
1	17,721	3051,208	1181,100	995,758	390,000
2	27,671	4059,416	1176,755	989,358	100,000
3	31,263	3867,697	1212,163	994,033	193,335
4	25,944	2749,154	1209,356	991,999	390,000
5	24,235	2684,119	1105,903	995,228	396,668
6	22,233	2281,773	891,559	990,954	326,668
7	17,729	2592,828	910,885	998,849	390,000
8	18,799	3064,183	1090,891	993,324	316,668
9	25,835	2427,886	1062,164	1002,357	213,333
10	19,464	2692,095	1075,265	995,910	266,665
11	23,639	3146,673	1226,869	992,282	106,668
12	22,326	3146,749	1121,355	990,137	316,668
13	24,552	2995,121	1235,075	992,946	190,000
14	28,969	3152,579	1273,458	991,568	233,335
15	25,456	2868,910	1293,894	993,556	173,335
16	21,483	3283,189	1267,938	992,611	246,665
17	27,704	3439,832	1283,380	990,260	116,668
18	25,279	3399,044	1310,225	990,186	159,998
19	24,841	2875,546	1216,488	992,925	143,333
20	26,756	3279,801	1196,337	997,158	300,000
21	26,076	2298,120	1256,646	988,306	226,668
22	27,272	2800,827	1388,106	996,662	323,333
23	18,328	3295,429	1274,246	989,914	366,668

24	24,615	2405,362	1022,939	998,263	296,668
25	25,412	2789,174	1066,867	995,736	333,333
26	29,533	3060,984	1197,260	991,295	306,665
27	27,026	2362,610	1248,505	994,152	373,333

Fonte: A autora.

4.2 Análise dos dados

Segundo estudos de Oliveira *et al.* (2014) em “Trocas de CO₂ em uma floresta de araucária: análise a partir de dados micrometeorológicos”, a média máxima diária de concentração de CO₂ do ar para o mês de fevereiro é de 3500 µmol/m³ durante o período diurno e média anual de 2300 µmol/m³ até 11 metros na floresta de araucária em São João do Triunfo no estado do Paraná.

Logo, para análise de concentração de CO₂ do ar em Santa Maria/RS, é de suma importância investigar o comportamento diário e ao longo do mês.

A partir dos registrados no período de fevereiro de 2013, foram observadas as médias a cada 6 horas de cada variável meteorológica no local, com intervalo inicial de zero hora do dia 1 de fevereiro de 2013 e término em 24h00min de 27 de fevereiro. Assim, foram atribuídas as médias de cada variável no intervalo de 00h01min às 06h00min; 06h01min às 12h00min; 12h01min às 18h00min e 18h01min às 24h00min.

Os maiores valores diários de temperatura do ar ocorreu no intervalo das 12h01min às 18h00min (Figura 13), registrando uma média superior de 29°C, índice de ocorrência superior a 60% durante o mês. E temperaturas mínimas registrados nesse intervalo foram médias superiores a 24°C devido à consequência de nebulosidade e chuvas.

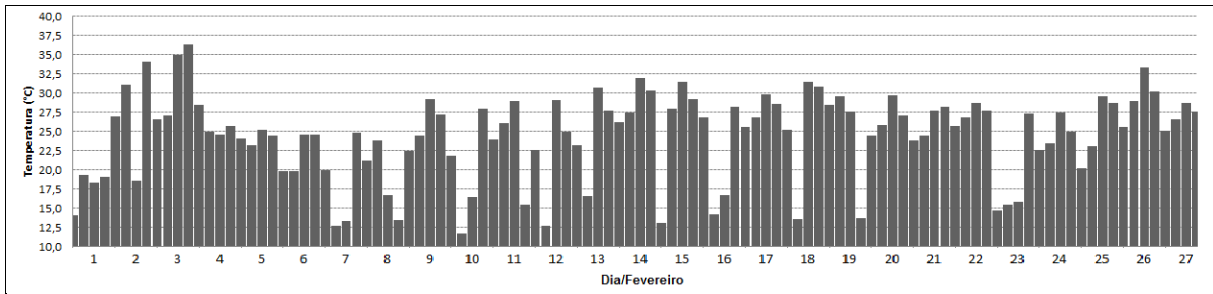


Figura 13: Médias de temperatura do ar registradas a cada 6 horas.
 Fonte: A autora.

Já as variações diárias de radiação ativa incidente (Figura 14), observados durante o intervalo de 06h01min as 18h00min, coincidiram com as médias máximas temperaturas e pressões de 993 ± 5 mbar (Figura 15), chegando a valores superiores de 650 KJ/m^2 por hora e mínimos de 252 KJ/m^2 por hora em dias ocorrentes a presença de nuvens e chuvas.

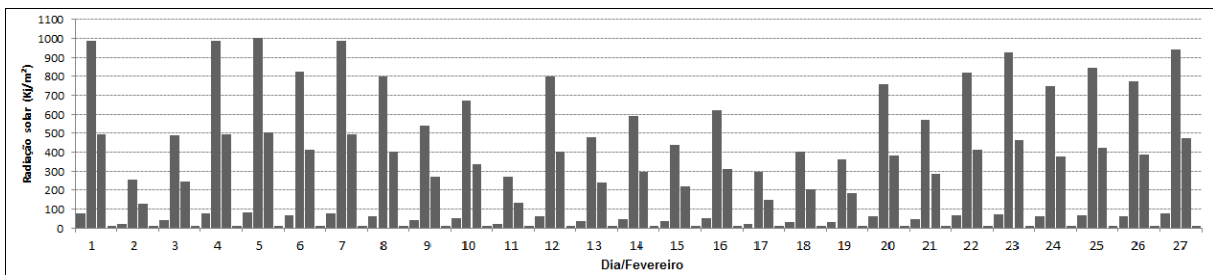


Figura 14: Médias de radiação ativa incidente registradas a cada 6 horas.
 Fonte: A autora.

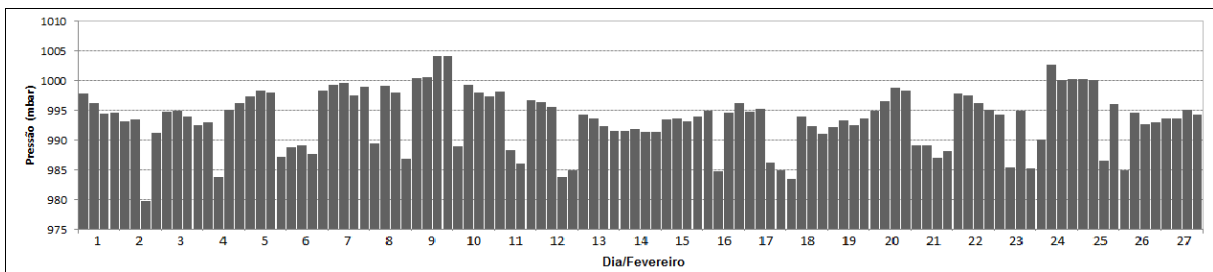


Figura 15: Médias de pressão atmosférica registradas a cada 6 horas.
 Fonte: A autora.

Ao analisar a concentração de CO_2 do ar (Figura 16) mostra que a faixa de variação média noturna foi de $2430 \pm 762 \mu\text{mol/m}^3$ ocorrido no intervalo de 00h01min as

06h00min e faixa de variação média diurna foi de $3632 \pm 422 \mu\text{mol}/\text{m}^3$ no intervalo de 12h01min as 18h00min, superior ao ambiente de floresta.

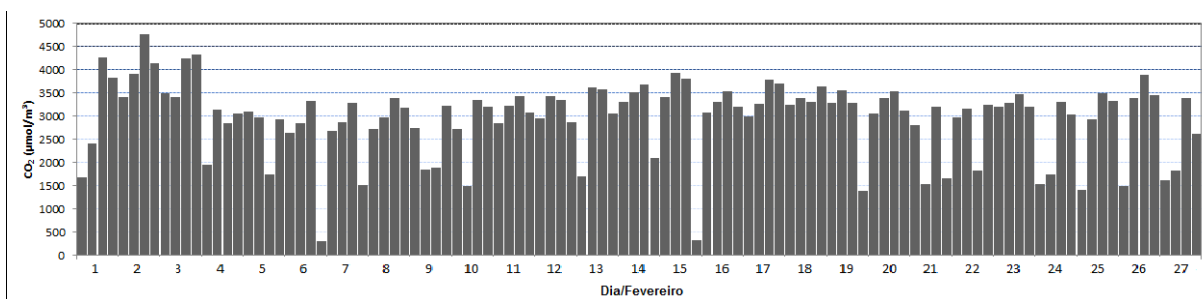


Figura 16: Médias de CO₂ do ar registradas a cada 6 horas.
Fonte: A autora.

Também foi analisada a concentração de H₂O do ar comparado ao mesmo intervalo de tempo do CO₂ do ar. A faixa de variação máxima de $1218 \pm 139 \mu\text{mol}/\text{m}^3$ e faixa de variação mínima de $1101 \pm 106 \mu\text{mol}/\text{m}^3$, com amplitude de $118 \mu\text{mol}/\text{m}^3$, para o período de oscilações de temperatura e radiação.

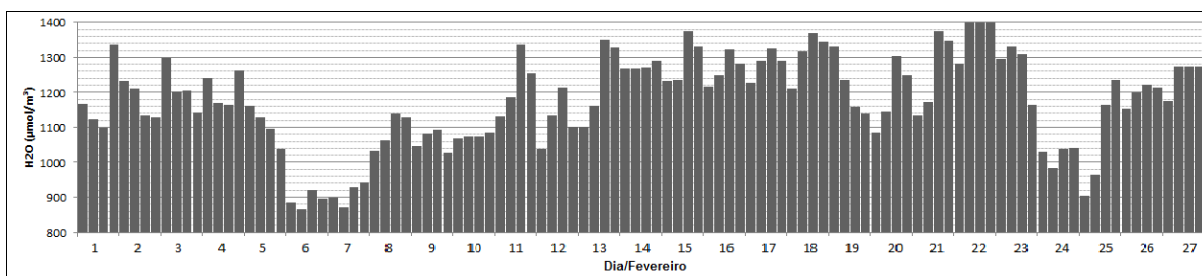


Figura 17: Médias de H₂O do ar registradas a cada 6 horas.
Fonte: A autora.

Os maiores valores de concentração de CO₂ do ar foram durante o período diurno com maiores elevação da temperatura do ar e menores valores de concentração no período noturno com temperaturas amenas, e sucessivamente devido à variação de radiação ao longo do ciclo de 24 horas. A Figura 18 apresenta os 18 dias de maior concentração de CO₂ do ar em relação à variação da temperatura do ar no intervalo de 12h01min as 18h00min.

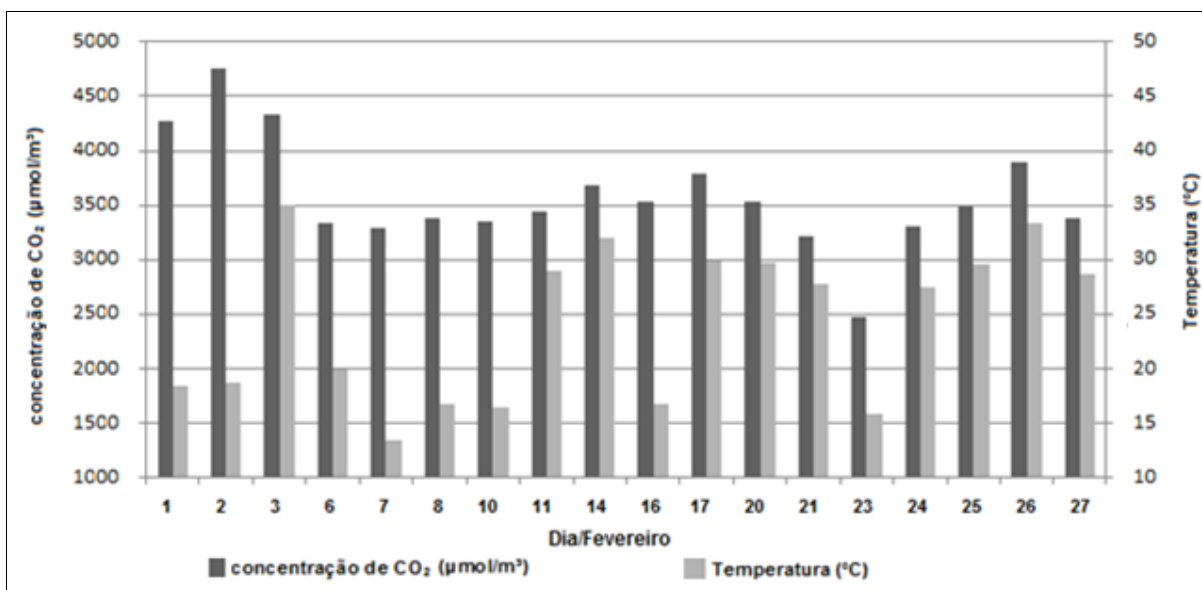


Figura 18: Dias de maiores concentrações de CO₂ do ar.

Podemos observar (Figura 19) que nos dias 6/02 e 23/02, destacados em elipses, a concentração de CO₂ do ar durante o ciclo diário diurno apresentou uma diminuição, associado à elevação da radiação solar e diminuição da temperatura do ar devido à ocorrência de ventos fortes com céu limpo. E à diminuição da radiação e temperatura do ar devido à ocorrência de ventos fortes com precipitação, respectivamente.

Com os valores amenos de temperatura do ar durante o intervalo das 12h01min às 18h00min, a concentração de CO₂ do ar nesses dois dias, teve uma redução média de 33 % em relação ao restante dos dias, que apresentaram maiores concentrações de CO₂ do ar nesse mesmo intervalo.

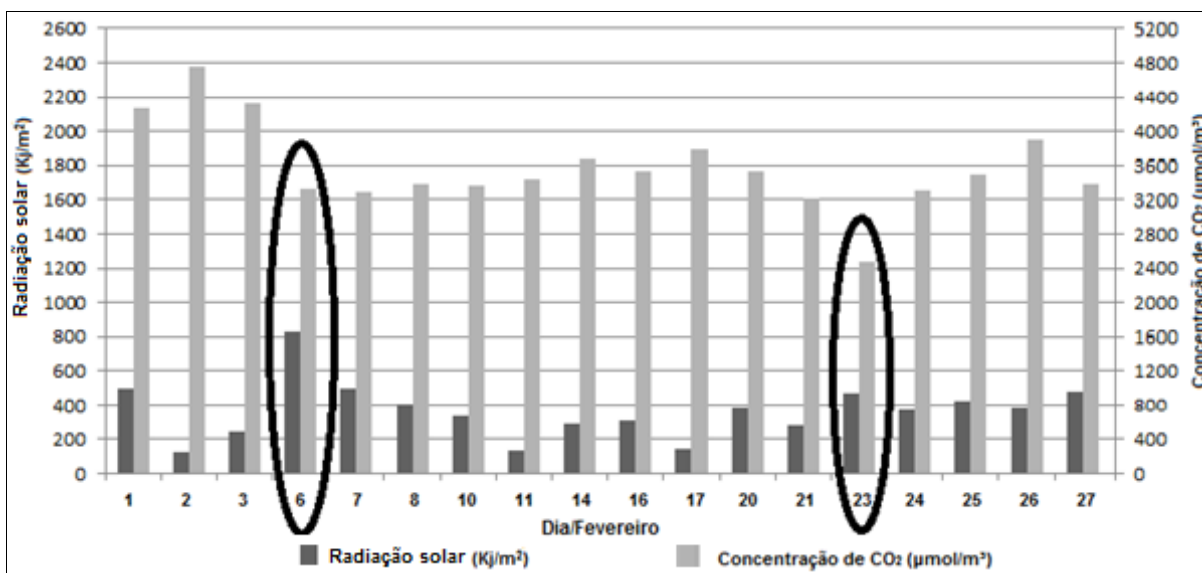


Figura 19: Médias de radiação ativa incidente e CO₂ do ar.

Em condições de ocorrência de ventos, chuvas e saturação de umidade de ar que influenciam, posteriormente na concentração de CO₂, deve-se considerar em uma experimentação futura, a variação da velocidade nas 3 direções (componentes da velocidade), assim como o índice de variação de precipitação pluviométrica durante todo o período.

Essa alta variação de concentração de CO₂ é resultante da variação das demais variáveis ambientais durante as 24 horas analisadas, que registram valores médios diários entre 24±13,5°C para a temperatura do ar; 1177,7±118,2 µmol/m³ para concentração de H₂O; 993±3,3 mbar para a pressão atmosférica e 266,5±94,5 kj/m² para a radiação ativa incidente, para o mês de fevereiro em Santa Maria.

Abaixo, as Figuras 20 a 24 mostram as variáveis ambientais medidas em Santa Maria durante o mês de fevereiro de 2013, com a apresentação dos valores médios diários da temperatura do ar, radiação ativa incidente, pressão atmosférica, CO₂ do ar e H₂O do ar.

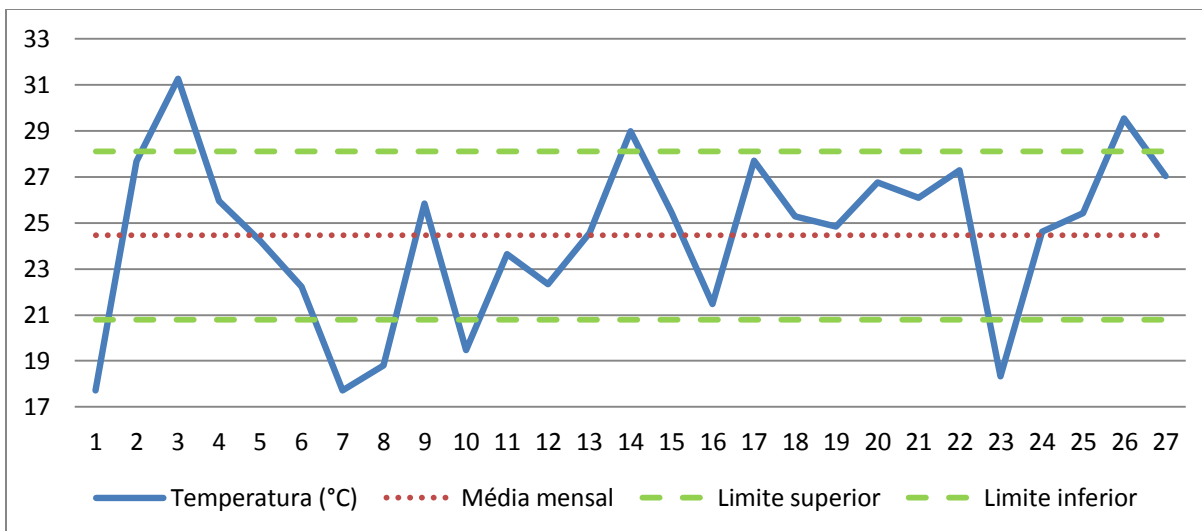


Figura 20: Médias diárias de temperatura do ar.

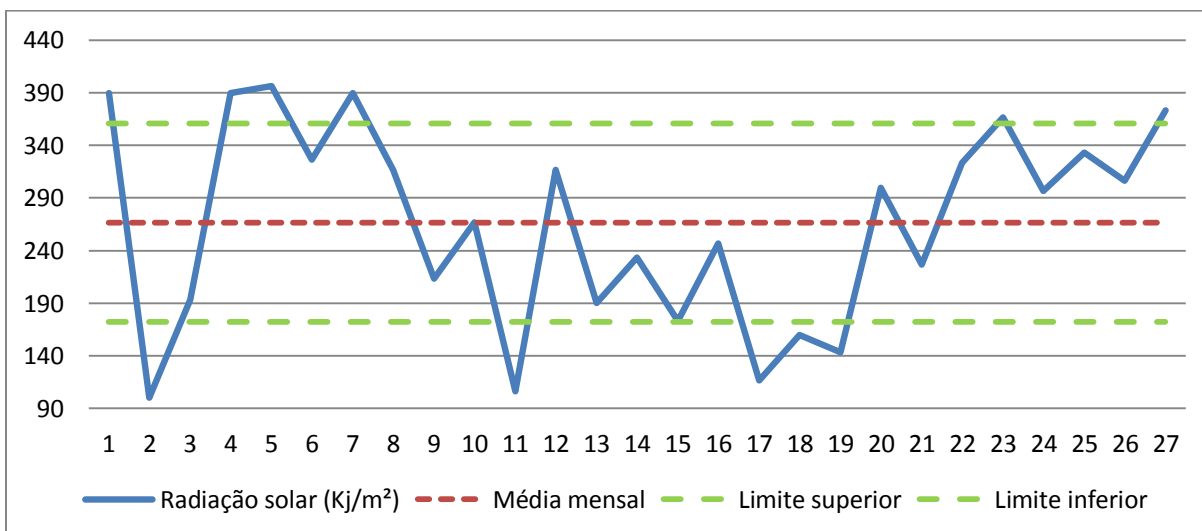


Figura 21: Médias diárias de radiação ativa incidente.

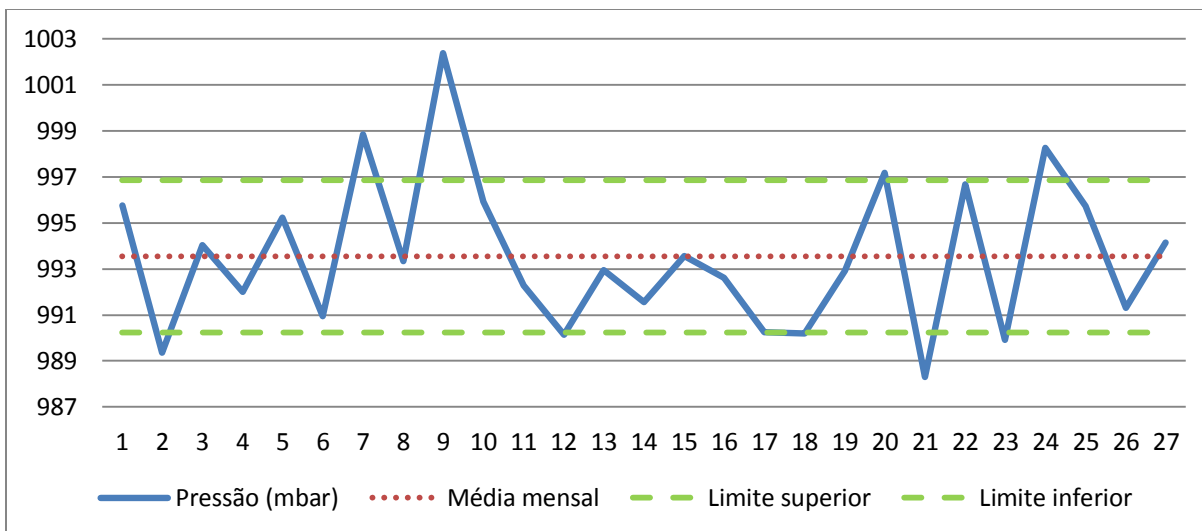


Figura 22: Médias diárias de pressão atmosférica.

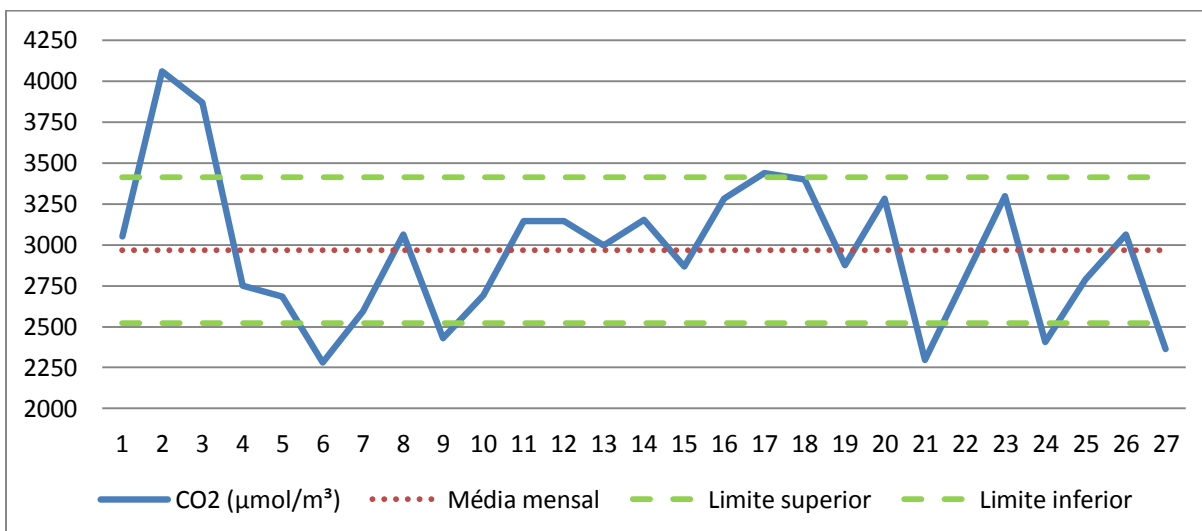


Figura 23: Médias de concentração de CO₂ do ar.

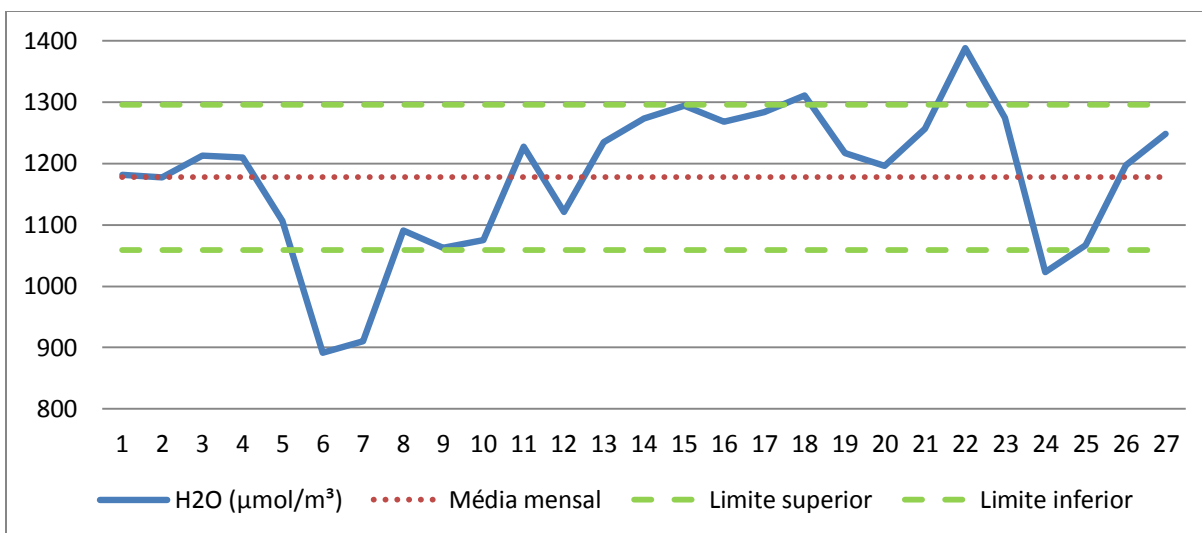


Figura 24: Médias diárias de concentração de H₂O do ar.

Constata-se que devido à atividade humana, desenvolvimento das indústrias e a formação de conglomerados urbanos, a temperatura do ar costuma ser mais elevada, assim como a produção de energia e acumulação de calor pelas superfícies pavimentadas, interferem no clima em zonas povoadas.

Outro fator é a poluição atmosférica, um importante desencadeante de inversões térmicas em centros urbanos. Partículas poluentes capturam as radiações emitidas pela superfície terrestre e aquecem o ar circundante, que adquire temperatura mais elevada que suas camadas mais baixas. Isso provoca menor deslocamento vertical do ar e acúmulo de agentes poluentes.

Estas alterações de concentração de CO₂ e aumento do número de partículas suspensas no ar interferem na redução da precipitação pluviométrica e partículas de água no ar.

5 CONCLUSÃO

Durante o período de análises os valores médios diários de concentração de CO₂ mostram ser altos ao longo do mês de fevereiro no centro urbano de Camobi em Santa Maria/RS. As maiores concentrações de CO₂ do ar permaneceram na faixa de 3632±422 µmol/m³ no intervalo de 12h01min as 18h00min, superior a média máxima diária para o mês de fevereiro de ambiente de floresta de valor máximo de 3500 µmol/m³ durante o dia.

A elevada concentração diária de CO₂ do ar está relacionada diretamente as baixa oscilações de temperatura do ar, umidade do ar, radiação solar e pressão atmosférica durante o período diurno. E principalmente devido a altas temperaturas e radiação solar para todo o mês de fevereiro em Santa Maria.

Com uma torre micrometeorológica e instrumentação adequada, pode-se efetuar medidas de alta taxa amostral em diferentes ecossistemas. Além do monitoramento de longo período de interações entre a superfície e a atmosfera visando quantificar o saldo de transferência de CO₂ e outras grandezas físicas no Estado do RS.

Este estudo pode-se avaliar e acompanhar as emissões diretas de CO₂ no consumo final energético do uso não energético de combustíveis fósseis e a participação de todos os setores da economia na emissão do CO₂. Assim como, o processo tecnológico para redução de perdas de energia e investimentos em eficiência energética de maneira a reduzir custos, através da produção e utilização de energia primária proveniente de fontes fósseis renováveis e aproveitamento de resíduos.

Essas ações contribuem para a preservação do meio ambiente, melhor qualidade de vida para as pessoas, uso racional de energia, estudos associados sobre eficiência energética e emissão de gases do efeito estufa no local.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AB'SABER, A. N. **Províncias geológicas e domínios morfoclimáticos no Brasil**. São Paulo. IGEUSP, 1970. Disponível em: < <http://pt.scribd.com/doc/219164298/Ab-Saber-Aziz-Nacib-Provincias-Geologicas-e-Dominios-Morfoclimaticos-do-Brasil-1970G#scribd> >. Acesso em: fevereiro 2015.

BORTOLUZZI, C.A. **Contribuição à geologia da Região de Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil**. Pesquisas em Geociências, v.4, n.1, p.7-86, 1974.

CADERNOS NAE. **Biocombustíveis – Cadernos de Núcleo de Assuntos Estratégicos da Presidência da República, nº 2, 2005**. Disponível em: < <http://www.ambiente.sp.gov.br/wp-content/uploads/publicacoes/etanol/NAEBiocombustiveis.pdf>>. Acesso em: fevereiro 2015.

CAMPBELLSCI. **Manual do fabricante Campbellsci**. Disponível em: <<http://www.campbellsci.com.br/produtos/20100312153046.pdf>>. Acesso em: fevereiro 2015.

CASTILLERO, A. C. **Uso da terra por fotografias aéreas do município de Santa Maria**. Monografia de Especialização Curso em Interpretação de Imagens Orbitais e Sub-orbitais. Departamento de Engenharia Rural da UFSM. Santa Maria, 1984. Disponível em: < <http://pt.scribd.com/doc/219164298/Ab-Saber-Aziz-Nacib-Provincias-Geologicas-e-Dominios-Morfoclimaticos-do-Brasil-1970G#scribd> >. Acesso em: fevereiro 2015.

CPTEC - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos **Glossário Técnico**. Disponível em: <<http://www.cptec.inpe.br/glossario.shtml#37>>. Acesso em: fevereiro 2015.

GOLDEMBERG, J. **Energia, meio ambiente e desenvolvimento**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo – Edusp, 1998.

GRACE, J. et al. **Carbon dioxide uptake by undisturbed tropical rain forest in southwest Amazonia, 1992 to 1993**. Science, v.270, p. 777-780, 1995.

IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. 2014. Disponível em: < <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/pesquisas/pesquisas.php>>. Acesso em: fevereiro 2015.

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Mudanças Ambientais Globais**. Disponível em: < <http://www.cptec.inpe.br/noticias/noticia/9477>>. Acessado em: fevereiro 2015.

INVENTÁRIO BRASILEIRO DE EMISSÕES ANTRÓPICAS DE GASES DE EFEITO ESTUFA - **Relatórios de referência emissões de gases de efeito estufa no tratamento e disposição de resíduos.** 2010. Disponível em: < http://www.ambiente.sp.gov.br/biogas/files/2014/01/brasil_mcti_residuos1.pdf>. Acesso em: fevereiro 2015.

OLIVEIRA *et al.* **Trocas de CO₂ em uma floresta de araucária: análise a partir de dados micrometeorológicos.** 2014. Disponível em: < <http://engenhariaflorestal.curitibanos.ufsc.br/files/2012/09/Livro-S%C3%ADtio-ELFA-2014-1.pdf>>. Acesso em: fevereiro 2015.

OMM - Organização Meteorológica Mundial. **Concentração de CO₂ sofreu maior aumento anual dos últimos 30 anos.** 2014. Disponível em: < <http://www.publico.pt/mundo/jornal/concentracao-de-co2-sofreu-maior-aumento-anual-dos-ultimos-30-anos-28812934>>. Acesso em: fevereiro 2015.

PEREIRA, P. R. B. et al. **Contribuição a geografia física do município de Santa Maria: Unidades de paisagem.** In: Geografia: Ensino & Pesquisa. Santa Maria, v. 3, p. 37-68, 1989.

SANTA MARIA EM DADOS. **Ambiente natural.** 2014. Disponível em: < <http://santamariaemdados.com.br/1-aspectos-gerais/1-5-ambiente-natural/>>. Acesso em: novembro 2014.

SARTORI, P.L.; MACIEL FILHO, C.; MENEGOTTO, E. **Contribuição ao estudo de rochas vulcânicas da Bacia do Paraná na região de Santa Maria/RS.** 1975. Revista Brasileira de Geociência, v. 5, p.141 – 159. Disponível em: < <http://rbg.sbgeo.org.br/index.php/rbg/article/view/80>>. Acesso em: fevereiro 2015.

SEED - Schlumberger Excellence in Education Development. **Global Climate Change and Energy CO₂ and Temperature Change.** 2014. Disponível em: < <http://www.planetseed.com/pt-br/relatedarticle/co2-e-mudanca-de-temperatura>>. Acesso em: fevereiro 2015.

SO BIOLOGIA. **A poluição do ar e a nossa saúde.** 2014. Disponível em: < <http://www.sobiologia.com.br/conteudos/Ar/Ar10.php>>. Acesso em: fevereiro 2015.

SULFLUX. **Rede de Fluxos Superficiais no Sul do Brasil.** Disponível em: < <http://www.sulflux.ufsm.br/sulflux/index.php?lang=br>>. Acesso em: fevereiro 2015.

TUBELIS, A.; NASCIMENTO, F.J.L. DO. **Meteorologia descritiva: fundamentos e aplicações brasileiras.** São Paulo: Nobel, 1986. 374 p. Disponível em: < <http://pt.scribd.com/doc/189524772/meteorologia-descritiva-antonio-tubelis-e-fernando-jose-lino-do-nascimento-2#scribd>>. Acesso em: fevereiro 2015.