

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
CENTRO DE CIÊNCIAS NATURAIS E EXATAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FÍSICA**

**SAZONALIDADE DA CONCENTRAÇÃO DE CO<sub>2</sub>  
ATMOSFÉRICO EM UMA  
ÁREA AGRÍCOLA NO RS**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**Leticia Borges Bevilacqua**

**Santa Maria, RS, Brasil.**

**2012**

# **SAZONALIDADE DA CONCENTRAÇÃO DE CO<sub>2</sub> ATMOSFÉRICO EM UMA ÁREA AGRÍCOLA NO RS**

**Leticia Borges Bevilacqua**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Física, Área de Concentração em Áreas Clássicas da Fenomenologia e Suas Aplicações, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Física.**

**Orientador: Prof. Dr. Osvaldo Luiz Leal de Moraes**

**Santa Maria, RS, Brasil.**

**2012**

B571s Bevilacqua, Leticia Borges  
Sazonalidade da concentração de CO<sub>2</sub> atmosférico em uma área agrícola no  
RS / por Leticia Borges Bevilacqua. – 2012.  
52 f. ; il. ; 30 cm

Orientador: Osvaldo Luiz Leal de Moraes  
Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Centro de  
Ciências Naturais e Exatas, Programa de Pós-Graduação em Física, RS, 2012

1. Concentração 2. Dióxido de carbono 3. Precipitação 4. Sazonalidade  
I. Moraes, Osvaldo Luiz Leal de II. Título.

CDU 53

Ficha catalográfica elaborada por Cláudia Terezinha Branco Gallotti – CRB 10/1109  
Biblioteca Central UFSM

---

©2012

Todos os direitos autorais reservados a Leticia Borges Bevilacqua. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita mediante a citação da fonte.

---

**Universidade Federal de Santa Maria  
Centro de Ciências Naturais e Exatas  
Programa de Pós-Graduação em Física**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,  
aprova a Dissertação de Mestrado

**SAZONALIDADE DA CONCENTRAÇÃO DE CO<sub>2</sub> ATMOSFÉRICO  
EM UMA ÁREA AGRÍCOLA NO RS**

elaborada por  
**Leticia Borges Bevilacqua**

Como requisito parcial para obtenção do grau de  
**Mestre em Física**

**COMISSÃO EXAMINADORA:**

---

**Oswaldo Luiz Leal de Moraes, Dr.<sup>o</sup> - UFSM**  
(Presidente/Orientador)

---

**Débora Regina Roberti, Dr.<sup>a</sup> - UFSM**

---

**Luis Gustavo Gonçalves de Gonçalves Dr.<sup>o</sup> - INPE/Cptec**

Santa Maria, de 2012.

Aos meus pais Paulo e Marta, manas  
Caroline e Amanda e ao meu marido  
Ormuz, com amor.

**Dedico...**

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, por ter me guiado.

Aos meus pais, Paulo Cezar Bevilacqua e Marta Lúcia Bevilacqua, pelo carinho, amor e apoio.

As manas Caroline e Amanda Bevilacqua, pela compreensão.

Ao Ormuz Jardim dos Santos Neto pela compreensão, amor e incentivo.

À Universidade Federal de Santa Maria e ao Programa de Pós-Graduação pela oportunidade de realização do mestrado.

À Dr<sup>a</sup> Débora Regina Roberti pela doação do seu tempo e ajuda, não só com relação à ciência, mas também pela ajuda a me tornar uma pessoa independente, capaz de tomar decisões e muito mais autoconfiante.

Ao Dr<sup>o</sup> Osvaldo Luiz Leal de Moraes, meu prezado orientador, pelo apoio. Por me conceder a oportunidade de progredir.

Aos colegas Viviane Guerra, Virnei Moreira, Daniel e Geovane pela amizade, pelo auxílio nos experimentos e por prestarem ajuda quando necessário.

E a todos que, também, contribuíram para que eu concluísse mais essa grande etapa em minha vida.

## **RESUMO**

Dissertação de Mestrado  
Programa de Pós-Graduação em Física  
Universidade Federal de Santa Maria

### **SAZONALIDADE DA CONCENTRAÇÃO DE CO<sub>2</sub> ATMOSFÉRICO EM UMA ÁREA AGRÍCOLA NO RS**

Autora: Leticia Borges Bevilacqua

Orientador: Osvaldo Luiz Leal de Moraes

Data e Local da Defesa: Santa Maria, 31 de Janeiro de 2012.

Neste trabalho uma área agrícola, no município de Cruz Alta/RS, foi utilizada para avaliar a sazonalidade da concentração de CO<sub>2</sub> com relação às variáveis meteorológicas de temperatura, radiação global e precipitação. O período avaliado foi de janeiro de 2009 a fevereiro de 2011. Neste período ocorreu a rotação de culturas agrícolas: soja-aveia-soja-milho. Os dados de concentração de CO<sub>2</sub> foram obtidos por um analisador de gás infravermelho instalado em uma torre micrometeorológica no centro da área agrícola. As variáveis meteorológicas foram obtidas de uma estação o INMET a aproximadamente 400m da área em estudo. A média mensal máxima de concentração de CO<sub>2</sub> ocorreu em maio de 2010, e a mínima em dezembro de 2009. Os meses de janeiro e junho de todos os anos foram utilizados para uma análise detalhada da relação entre a concentração atmosférica de CO<sub>2</sub> e as variáveis meteorológicas. Através das médias diárias e mensais da concentração de CO<sub>2</sub>, pode-se dizer que uma sazonalidade anual e uma variabilidade interanual existem e que elas estão intimamente ligadas ao regime de precipitação, temperatura do ar e radiação global. Avaliando a variabilidade interanual conclui-se que há uma evolução das médias da concentração de CO<sub>2</sub> ao longo de todo o período estudado.

**Palavras-chave:** Concentração. Dióxido de carbono. Precipitação. Sazonalidade.

## **ABSTRACT**

Master Thesis

Post-Graduation Program in Physical

Universidade Federal de Santa Maria – RS, Brazil

### **THE SEASONAL ATMOSPHERIC CO<sub>2</sub> CONCENTRATION IN AN AGRICULTURAL AREA IN RS**

Author: Leticia Borges Bevilacqua

Advisor: Osvaldo Luiz Leal de Moraes

Location and date of Defense: Santa Maria, January 31, 2012.

In this work an agricultural area in Cruz Alta/RS was used to evaluate the seasonality of CO<sub>2</sub> concentration with respect to meteorological variables of temperature, global radiation and rainfall. The study period was January 2009 to February 2011. In this period occurred the rotation of crops: soybeans-oats- soybeans-corn. The CO<sub>2</sub> concentration data were obtained by an infrared gas analyzer installed in a micrometeorological tower in the center of the agricultural area. The meteorological variables were obtained from a station INMET approximately 400m of the study area. The monthly average maximum CO<sub>2</sub> concentration occurred in May 2010, and minimum in December 2009. The month of January and June of each year were used for a detailed analysis of the relationship between atmospheric CO<sub>2</sub> concentration and meteorological variables. Through the daily and monthly average concentration of CO<sub>2</sub>, can be said that an annual seasonality and interannual variability exist and that it is closely linked to the regime of precipitation, air temperature and global radiation. Assessing inter-annual variability is concluded that there is an evolution of the mean CO<sub>2</sub> concentration throughout the study period.

**Keywords:** Concentration. Carbon dioxide. Precipitation. Seasonality.

## LISTA DE QUADROS

<b>QUADRO 1</b> – Descrição da rotação de culturas no período de 2008 a 2011 em Cruz Alta/RS .....	26
<b>QUADRO 2</b> – Valores médios máximos e mínimos de concentração de CO <sub>2</sub> durante os meses de Janeiro de 2009, 2010 e 2011 em Cruz Alta/RS .....	39
<b>QUADRO 3</b> – Valores médios máximos e mínimos de concentração de CO <sub>2</sub> durante os meses de Junho de 2009 e 2010 em Cruz Alta/RS.....	42

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> – Concentração de CO <sub>2</sub> na atmosfera em Mauna Loa, Havaí, desde os anos 50 (Fonte: National Oceanic and Atmospheric Administration – NOAA – Novembro 2010) .....	13
<b>Figura 2</b> – Distribuição percentual da radiação incidente (Fonte: <a href="http://fisica.ufpr.br/grimm/aposmeteo/cap2/cap27.html">http://fisica.ufpr.br/grimm/aposmeteo/cap2/cap27.html</a> ) .....	17
<b>Figura 3</b> – Contribuição relativa de gases provenientes das atividades antrópicas ao efeito estufa (baseado em Krupa, 1997) .....	18
<b>Figura 4</b> – Processo de fotossíntese e respiração (Fonte: <a href="http://www.eciencia.usp.br">www.eciencia.usp.br</a> ).....	19
<b>Figura 5</b> – Neutralidade, instabilidade e estabilidade da CLP (Erbrink et al., 1997 ..	22
<b>FIGURA 6</b> – Localização do sítio experimental – Cruz Alta/RS (Fonte: <a href="http://www.ufsm.br/sulflux">www.ufsm.br/sulflux</a> .....	24
<b>Figura 7</b> – Torre de observação utilizada nas medidas na área agrícola em Cruz Alta/RS. (Fonte: <a href="http://www.ufsm.br/sulflux">www.ufsm.br/sulflux</a> .....	25
<b>Figura 8</b> – Frequência de falhas nos dados de Concentração de CO <sub>2</sub> entre os meses de janeiro de 2009 e fevereiro de 2011 .....	27
<b>Figura 9</b> – Média Climatológica e média mensal do período experimental da precipitação em Cruz Alta/RS .....	29
<b>Figura 10</b> – Média Climatológica e média mensal do período experimental da temperatura em Cruz Alta/RS .....	30
<b>Figura 11a</b> – Média diária, no período experimental, da velocidade do vento em Cruz Alta/RS .....	31
<b>Figura 11b</b> – Média diária, no período experimental, da temperatura em Cruz Alta/RS .....	31
<b>Figura 11c</b> – Média diária, no período experimental, da radiação global em Cruz Alta/RS .....	32
<b>Figura 12</b> – Concentração média diária de CO <sub>2</sub> na área agrícola de Cruz Alta/RS no período de 01/01/2009 a 28/02/2011 .....	35
<b>Figura 13</b> – Concentração média mensal de CO <sub>2</sub> do período estudado com a especificação dos tipos de culturas por período.....	36
<b>Figura 14</b> – Ciclo diário médio mensal da concentração de CO <sub>2</sub> durante todo o período estudado em Cruz Alta/RS.....	38

<b>Figura 15</b> – Ciclo diário médio mensal da concentração de CO <sub>2</sub> nos meses de Janeiro em 2009, 2010 e 2011 .....	39
<b>Figura 16</b> – Temperatura média nos meses de Janeiro de 2009, 2010 e 2011 .....	41
<b>Figura 17</b> – Radiação global média nos meses de Janeiro de 2009, 2010 e 2011 .....	41
<b>Figura 18</b> – Concentração média de CO <sub>2</sub> nos meses de Junho em 2009 e 2010.....	42
<b>Figura 19</b> – Temperatura média nos meses de Junho de 2009 e 2010 .....	43
<b>Figura 20</b> – Radiação Global Média nos meses de Junho de 2009 e 2010 .....	44

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	12
<b>2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	16
<b>2.1 Efeito estufa e dióxido de carbono</b> .....	16
<b>2.2 Fotossíntese - Respiração</b> .....	18
<b>2.3 Efeito estufa e a agricultura</b> .....	20
<b>2.4 Camada limite planetária</b> .....	21
<b>3 METODOLOGIA</b> .....	24
<b>3.1 Descrição do sítio experimental e coleta de dados</b> .....	24
<b>3.2 Controle de Qualidade</b> .....	27
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	28
<b>4.1 Caracterização Climática</b> .....	28
<b>4.2 Condições de tempo nas fases de cultivos</b> .....	30
<b>4.3 Concentrações de CO<sub>2</sub></b> .....	35
<b>4.3.1 Sazonalidade anual da concentração de CO<sub>2</sub></b> .....	35
<b>4.3.2 Sazonalidade anual da concentração de CO<sub>2</sub> em relação ao cultivo</b> .....	36
<b>4.4 Análise das concentrações de CO<sub>2</sub> nos meses de janeiro e junho</b> .....	38
<b>5 CONCLUSÕES</b> .....	45
<b>6 TRABALHOS FUTUROS</b> .....	46
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	47

# 1 INTRODUÇÃO

O dióxido de carbono,  $\text{CO}_2$ , é essencial à vida no planeta, visto que é um dos principais compostos para a realização da fotossíntese, processo pelo qual os organismos fotossintetizantes transformam a energia solar em energia química, que por sua vez é distribuída para todos os seres vivos por meio da teia alimentar. Os organismos fotossintetizantes, além de absorverem o carbono encontrado na atmosfera na forma de dióxido de carbono pela fotossíntese, também liberam dióxido de carbono para a atmosfera mediante o processo de respiração.

Mas há também a liberação de dióxido de carbono para a atmosfera que pode ocorrer via queima de combustíveis fósseis, mudanças no uso da terra, desmatamentos e queimadas. Esses processos podem representar importantes alterações nos estoques naturais de carbono, que tem um papel fundamental na mudança do clima do planeta.

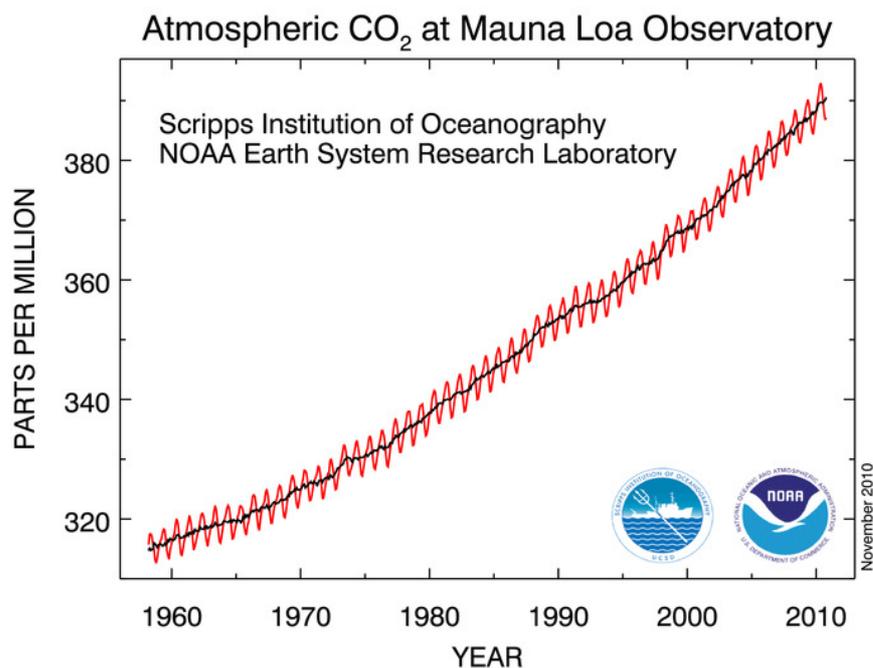
Juntamente com o aumento do  $\text{CO}_2$  na atmosfera verifica-se um aquecimento da superfície terrestre, conhecido por aquecimento global, principal consequência do efeito estufa. O aquecimento global é caracterizado pelo aumento das temperaturas médias do ar e oceanos, derretimento de neve e gelo e elevação do nível médio do mar.

A capacidade de retenção da radiação térmica que gases, como o  $\text{CO}_2$ , apresenta quando a radiação solar incide na atmosfera é o que garante a temperatura da Terra por volta de  $30^\circ\text{C}$ , proporcionando condições para a existência de vida no planeta (Lima, 2001). As mudanças climáticas globais vão além do aquecimento global e se caracterizam também pelas alterações dos padrões de chuva, vento e circulação dos oceanos. Há evidências também sobre o aumento da intensidade de ciclones no norte do Atlântico, correlacionados com o aumento da temperatura da superfície dos oceanos tropicais e aumento também da intensidade de ciclones em algumas regiões dos trópicos (IPCC, 2007).

Desde o início da era industrial no século XVIII até a atualidade, a concentração de  $\text{CO}_2$  na atmosfera aumentou em média de 280 ppmv (partes por milhão por volume) para aproximadamente 370 ppmv (Keeling e Whorf, 1999). Atualmente, cerca de 40% das emissões antropogênicas ainda permanecem na

atmosfera (Tans et al., 1996; Conway et al., 1994). Há um consenso científico de que as atividades humanas que resultam na liberação de CO<sub>2</sub> para a atmosfera estejam afetando o clima terrestre na sua variabilidade natural.

Dados coletados no Observatório de Mauna Loa (Havaí), administrado pela NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration), mostram um aumento de 19,4% na concentração média anual de CO<sub>2</sub> no período de 1959 a 2004, aumentando de 316ppmv para 377ppmv de ar neste período (Keeling e Whorf, 2005). A taxa de crescimento entre 1997 e 1998 de 2,87ppmv representa o maior salto ano desde o começo dos registros. Isso representa um aumento médio anual de 1,4ppmv/ano (Figura 1).



**Figura 1:** Concentração de CO<sub>2</sub> na atmosfera desde os anos 50. (Fonte: National Oceanic and Atmospheric Administration – NOAA – Novembro 2010)

Se forem considerados os valores pré-industriais, quando a concentração atmosférica era de aproximadamente 277ppmv, este aumento representa cerca de 31% e mais da metade deste aumento ocorreu nos últimos 50 anos (Marengo, 2006).

Em 2007, o Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (International Panel on Climate Change – IPCC) concluiu no seu Quarto Relatório de Avaliação AR4, que as temperaturas médias globais, neste século, subirão entre 2,0°C e 4,5°C, o que representa um aquecimento mais rápido do que aquele detectado no século XX e que, aparentemente, não possui precedentes durante, pelo menos, os últimos 10.000 anos (Marengo, 2006). Além do aumento da temperatura média do planeta, outras alterações também estão sendo desencadeadas por consequência da intensificação do efeito estufa, dentre elas destacam-se alterações nos padrões de distribuição e intensidade de chuvas, ventos e circulação dos oceanos (IPCC, 2007).

Além de causar alterações nas características físicas do planeta, as mudanças climáticas ocasionam alterações também no comportamento das plantas cultivadas. Segundo Siqueira et al. (2001), qualquer mudança no clima pode afetar o zoneamento agrícola, as técnicas de manejo e a produtividade das culturas. Tais alterações podem representar sérias consequências econômicas, sociais e ambientais.

A agricultura, por ser uma atividade econômica que depende das condições do clima, apresenta grande vulnerabilidade frente às mudanças climáticas. O aumento da concentração de gases de efeito estufa na atmosfera está alterando o balanço energético do sistema climático (IPCC 2007), e com isso, diversos efeitos potenciais poderão ser causados nos agroecossistemas. As tendências dos impactos do aquecimento global na agricultura são discutidas por Siqueira et al. (2001), alertando para alterações no padrão sazonal, intersazonal e inter-anual de precipitação e evapotranspiração. Como o ar é aquecido, há maior retenção de volume de água na atmosfera, e, conseqüentemente, aumento da precipitação em determinadas regiões.

Porém, estudos também apontam que a agricultura pode ser uma atividade mitigadora das emissões de gases do efeito estufa, assim esforços estão sendo concentrados no desenvolvimento de sistemas de manejo capazes de reduzir emissões de gases, mostrando que uma boa alternativa nessa mitigação é o sistema de plantio direto. Esse sistema bem executado, com rotação de culturas, cobertura permanente minimiza a perda de água e solo, tornando o solo um dreno de CO<sub>2</sub> (Pes, 2011).

No Brasil, muitos estudos da concentração de CO<sub>2</sub> atmosférico têm sido realizados, principalmente na região Amazônica (Leal et al 2006, Junior et al, 2004). Estudos da concentração do CO<sub>2</sub> em regiões agrícolas subtropicais, como é o caso do estado do Rio Grande do Sul tem sido pouco explorados.

Neste sentido, o estudo, em uma área de cultivo agrícola no município de Crua Alta no RS, tem como objetivo avaliar da sazonalidade da concentração de CO<sub>2</sub> e suas relações com as variáveis atmosféricas tais como, temperatura, radiação global e precipitação, além do uso do solo. Os dados de concentração de CO<sub>2</sub> foram obtidos através do projeto Sulflux, e as variáveis atmosféricas através de uma estação do INMET próximo a área de estudo.

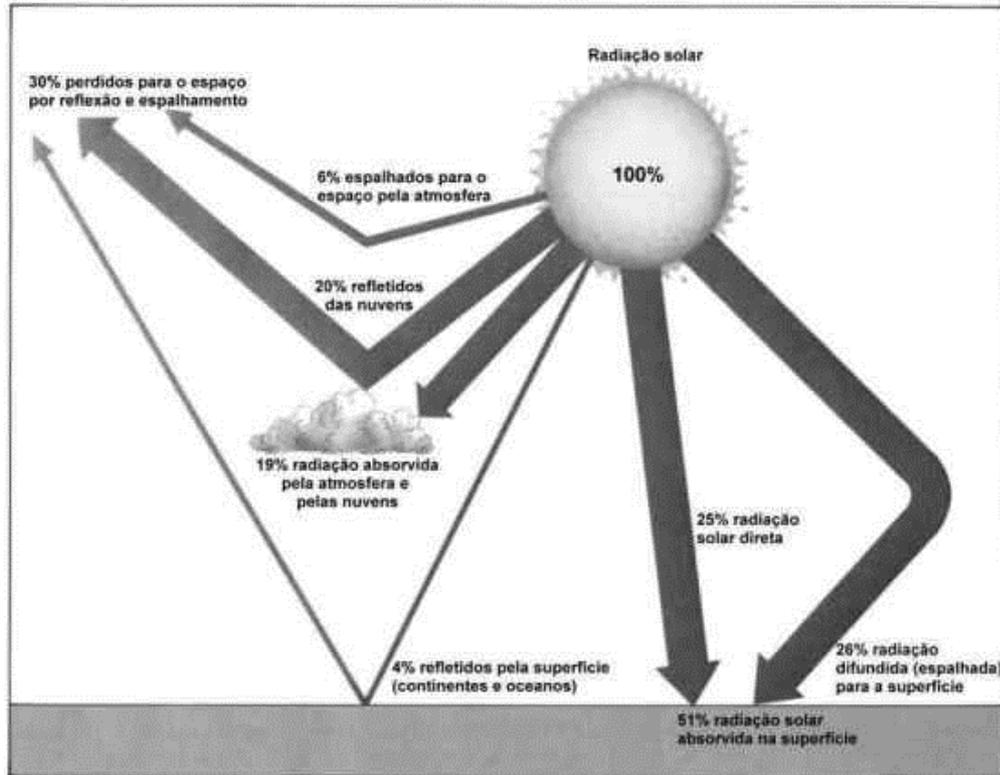
## **2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

### **2.1 Efeito estufa e dióxido de carbono**

Em cultivos onde se exige certo controle de temperatura, por exemplo, em países de invernos rigorosos, os cultivadores de legumes e plantas ornamentais constroem estruturas recobertas por painéis de vidro transparente, alguns dos quais podem ser abertos de forma controlada. Durante períodos de baixas temperaturas a luz e o calor do sol penetram no interior e aquecem o ar, as plantas e as estruturas de suporte aprisionando a energia. A temperatura da estufa é regulada pela abertura adequada dos painéis de vidro. Portanto, as chamadas estufas funcionam basicamente evitando o resfriamento do ar no ambiente. Em comparação a atmosfera terrestre, de certa maneira, transforma a Terra em uma enorme estufa.

Ou seja, a atmosfera terrestre, devido a sua composição e estrutura, interage simultaneamente com a radiação solar e a superfície terrestre, estabelecendo um sistema de trocas de energia que explica muitos fenômenos que afetam a vida no planeta. Da radiação que atinge a Terra, cerca de 70% é absorvida, 51% pela superfície e 19% pela atmosfera (Figura 2).

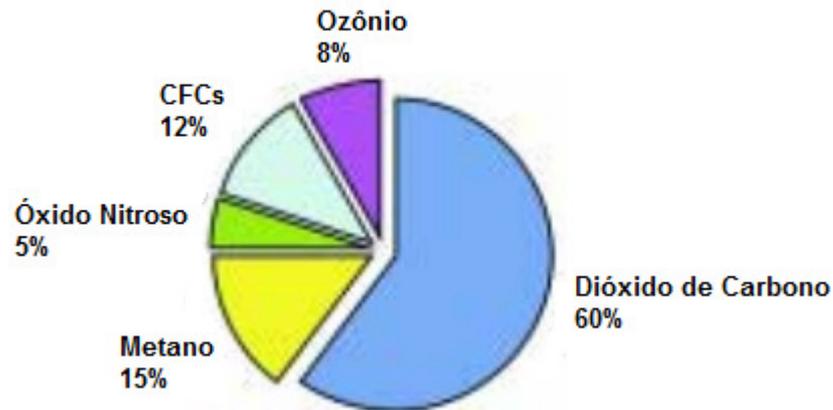
A radiação de onda curta, que é a radiação emitida pelo Sol, situa-se em praticamente todo o espectro conhecido das radiações eletromagnéticas, e o seu comportamento, quando incidem sobre a Terra, é bastante complexo. Essas radiações são basicamente absorvidas, refletidas e re-emitidas em situações diversas pela atmosfera, pelos oceanos e pela superfície terrestre. Uma parte dessa radiação incidente (onda curta) é absorvida pela superfície da Terra e re-emitida na faixa de radiação infravermelha (onda longa). Por esta característica é também parcialmente absorvida por alguns gases presentes na atmosfera, aumentando assim a temperatura ambiente.



**Figura 2:** Distribuição percentual da radiação solar incidente (Fonte: <http://fisica.ufpr.br/grimm/aposmeteo/cap2/cap2-7.html>)

A atmosfera é uma mistura de gases e aerossóis, os quais interagem com a radiação solar. Assim, chamamos de *efeito estufa* o processo que ocorre quando parte da radiação infravermelha emitida pela superfície terrestre é absorvida por esses gases presentes na atmosfera como o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), metano ( $\text{CH}_4$ ), óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ) e clorofluorcarbonetos (CFCs) e são chamados gases “efeito estufa” (GEE). Esses gases do efeito estufa ou gases estufa dificultam o escape dessa radiação para o espaço impedindo que ocorra uma perda demasiada de calor, mantendo a Terra aquecida.

Gases do efeito estufa estão presentes na atmosfera há milhões de anos, mas o homem afeta sua quantidade quando introduz novas fontes (processos que geram os gases) ou interfere nos sumidouros naturais (processos que destroem ou removem os gases) (Fórum Brasileiro de Mudanças Climáticas, 2002). A figura 3 mostra a contribuição relativa desses gases ao efeito estufa.



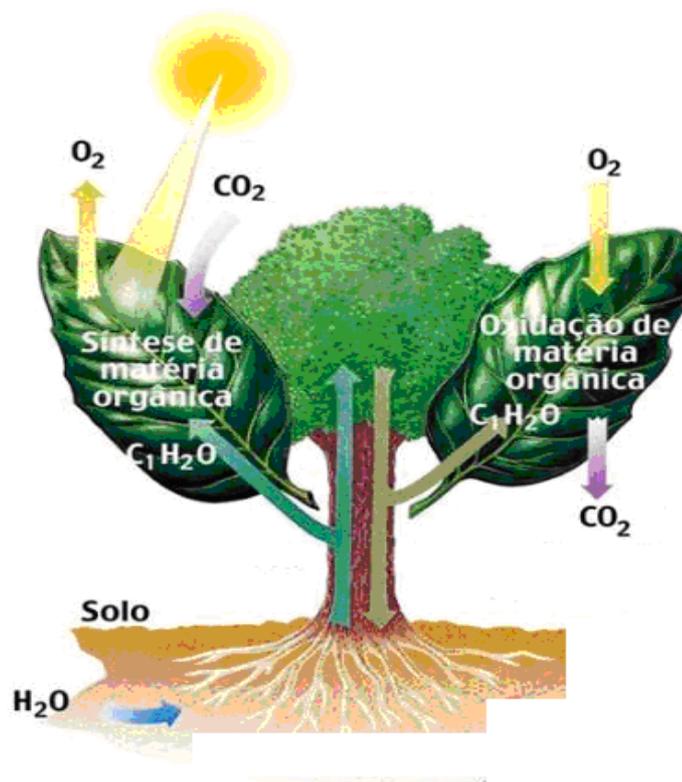
**Figura 3:** Contribuição relativa de gases provenientes de atividades antrópicas ao efeito estufa (baseado em Krupa, 1997)

O dióxido de carbono tem sido apontado como o grande vilão da exacerbação do efeito estufa já que a sua presença na atmosfera decorre, em grande parte, de atividades humanas. Em termos quantitativos, anualmente cerca de 2650 bilhões de toneladas de CO<sub>2</sub> são lançadas na atmosfera. Como o tempo médio de residência do CO<sub>2</sub> na atmosfera é cerca de cem anos a estabilização ou mesmo a diminuição do teor atmosférico desse gás requer diminuição significativa em sua emissão.

## 2.2 Fotossíntese - Respiração

A concentração de CO<sub>2</sub> na atmosfera é resultante do balanço entre fontes e sumidouros nos ecossistemas terrestres, nos oceanos e na litosfera. Uma vez na atmosfera o CO<sub>2</sub> pode ser incorporado aos ecossistemas terrestres, principalmente pela fotossíntese, e aos oceanos, pela fotossíntese e dissolução na forma de carbonatos (Schlesinger, 1997; Wigley & Schimel, 2000). Nos ecossistemas terrestres o dióxido de carbono, fixado pela vegetação, é parcialmente consumido pela respiração dos próprios autotróficos e entra como fonte básica de energia para os demais sistemas heterotróficos, sendo consumido pela respiração dos mesmos em diferentes níveis tróficos e, finalmente, por processos de decomposição. Ou seja,

o  $\text{CO}_2$  é absorvido pelas plantas sendo utilizado para a formação de compostos orgânicos e parte dele volta diretamente à atmosfera pela respiração dessas plantas. Durante o dia a planta absorve o  $\text{CO}_2$  e libera  $\text{O}_2$  por meio da fotossíntese, mas durante a noite as plantas deixam de realizar fotossíntese e passam a dar contribuição para o aumento da concentração em seu processo respiratório (figura 4). Logo, com a presença de luz solar, participação da água, as plantas necessitam continuamente de  $\text{CO}_2$  para sintetizarem glicose e o processo dessa síntese é a própria fotossíntese (Santos, 1999).



**Figura 4:** Processo de fotossíntese e respiração (Fonte: [www.eciencia.usp.br](http://www.eciencia.usp.br))

A fixação de  $\text{CO}_2$  por fotossíntese, pelas plantas, converte a energia solar (*Radiação Fotossinteticamente Ativa – RFA*) em energia química que é utilizada para a manutenção e crescimento da vegetação terrestre e aquática. Ou seja, esse processo ocorre em presença de luz e em plantas clorofiladas (que contêm cloroplastos – organelas localizadas nas folhas que capturam a energia luminosa).

Então, as plantas são exemplos de organismos que sustentam a cadeia trófica, além de diminuir a concentração de dióxido de carbono devido à fixação realizada pelas folhas.

O ciclo da incidência da radiação solar faz variar o ciclo da fotossíntese agindo como fator principal para o seqüestro de carbono no ar atmosférico. A taxa de CO<sub>2</sub> emitida pela superfície para a atmosfera é a diferença entre a assimilação de CO<sub>2</sub> realizada pelas plantas e a emissão pelo solo e plantas.

Se forem consideradas as trocas de CO<sub>2</sub> no sistema superfície-atmosfera relacionadas à vegetação, as mesmas representam a contribuição de vários processos. Quando a planta cresce existe a fixação do carbono na forma de biomassa aérea e radicular através da fotossíntese ao mesmo tempo este carbono é perdido devido à respiração, para manter o crescimento da mesma. Deve-se considerar também como fonte biogênica e emissões de CO<sub>2</sub> devido ao efluxo do solo, ou seja, pela respiração do solo no sistema solo – planta - atmosfera.

Wofsy et al (1988), mostraram que o solo e a vegetação constituem uma fonte de CO<sub>2</sub> durante a noite devido a sua respiração, e sumidouro durante o dia em função da atividade fotossintética. Por isso, altas concentrações podem ser observadas no início da manhã, a partir do pôr-do-sol, devido à respiração da vegetação, ao efluxo do solo durante a noite e ao desenvolvimento da camada atmosférica estável noturna, considerando-se noites calmas.

### **2.3 Efeito estufa e a Agricultura**

A agricultura é uma atividade altamente dependente de fatores climáticos, como temperatura, pluviosidade, umidade do solo e radiação solar. Os principais efeitos das alterações desses fatores na agricultura certamente incidiriam na produtividade e no manejo de culturas, assim como nos sistemas sociais, econômicas e de políticas públicas.

O desenvolvimento industrial e a expansão das fronteiras agrícolas do mundo, principalmente a partir do século XIX, tem acentuado a emissão de GEE (gases de efeito estufa), promovendo assim um efeito estufa adicional (Costa et al., 2008) e,

como conseqüência, há um incremento na temperatura média do planeta, que apresenta sérias conseqüências ambientais e ao setor produtivo (IPCC, 2007).

Estima-se que a agricultura seja responsável por 23% das emissões de GEE de origem antropogênicas. A contribuição da atividade agrícola ocorre principalmente pelo desmatamento, cultivo de arroz irrigado, criação de ruminantes, uso de fertilizantes minerais e pela decomposição da matéria orgânica do solo (MOS), promovida pelas práticas de preparo do solo (Lal et al., 1998; Reicosky e Lindstrom., 1993). A nível mundial, a estimativa é de que a agricultura contribua com aproximadamente 22% das emissões totais de CO<sub>2</sub> (IPCC, 2007).

A mudança climática pode afetar a produção agrícola de várias formas: pela mudança nos fatores climáticos, incluídos a freqüência e a severidade de eventos extremos; pelo aumento da produção, devido ao efeito fertilizador do carbono por causa da maior concentração de CO<sub>2</sub> atmosférico; pela intensidade de colheita, devido a uma mudança no número de graus-dia de crescimento, ou devido a modificação da ocorrência e a severidade de pragas ou doenças. (Shaw, 1997) entre outros efeitos.

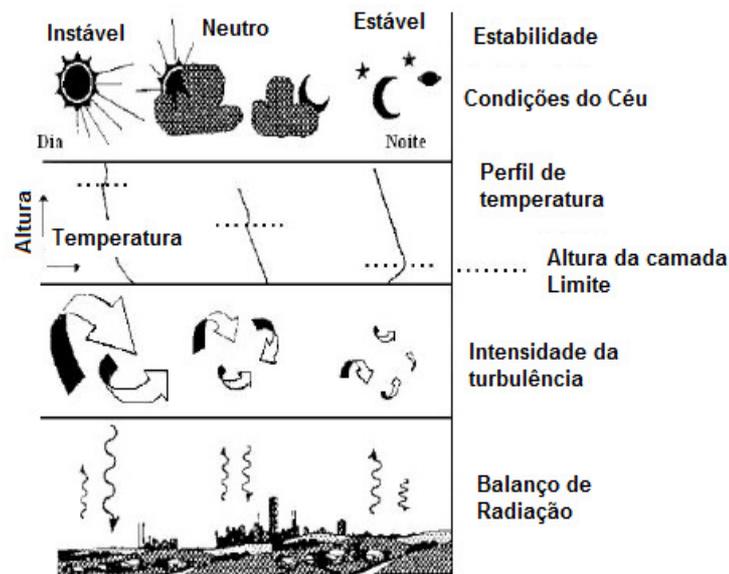
## **2.4 Camada Limite Planetária**

A Camada Limite Planetária (CLP) ou Camada Limite Atmosférica (CLA), como é também conhecida, é a região na qual a parte inferior da atmosfera sofre efeitos superficiais (forçantes), através das trocas verticais de calor, momentum, vapor d'água, emissões de poluentes e a influência do terreno sobre o escoamento de ar. Esses forçantes superficiais pertencem a CLP, quando a escala de tempo observacional é de 1 hora ou menos (Stull, 1988). Essa porção, denominada Camada Limite Planetária, caracteriza processos de emissão ou absorção que acontecem na atmosfera (Moraes et al., 2007). Há dois tipos de interações mais importantes entre a superfície e a atmosfera: 1) Interação térmica: aquecimento da superfície durante o dia e resfriamento á noite. 2) Interação mecânica: redução da velocidade do vento pelo atrito com a superfície.

A CLP é caracterizada pela variação diurna de temperatura, provocada pelo aquecimento e resfriamento da superfície da terra. A radiação proveniente do Sol é o

mecanismo que induz estas variações, o que não ocorrem em grandes altitudes em relação ao solo. Geralmente, durante o dia, essa camada pode atingir de 1-2km de altura e a noite sua espessura reduz-se drasticamente, podendo ser inferior a 100m (Panofsky e Dutton, 1984). A espessura da CLP, denominada  $h$ , é a região na qual as propriedades atmosféricas são misturadas.

A responsável por esta mistura é a turbulência, composta de três mecanismos guiadores, fluxo de momentum, fluxo de calor e parâmetro de empuxo (Venkatram e Wyngaard, 1988). A partir da interação diária destes mecanismos, pode-se dividir a CLP em distintos comportamentos de estabilidade, como é mostrado na figura 5.



**Figura 5:** Neutralidade, instabilidade e estabilidade da CLP (Erbrink et al., 1997)

Quando a incidência de raios solares aquece o solo terrestre, a radiação que chega a superfície é maior que a perda, assim parcelas de ar próximas ao solo elevam sua temperatura. Por estarem mais quentes, sua massa específica diminui, tornando-se mais leves, assim forças de empuxo irá acelerá-las para cima, enquanto que parcelas de ar superiores irão descer (mais pesadas), provocando uma mistura ou instabilidade atmosférica. Quando a radiação solar para de incidir sobre a superfície, o balanço de radiação indica que a radiação que chega ao solo é menor

que a perda, portanto esta resfria-se e a parcela de ar próxima ao solo começam a resfriar-se, amplificando até camadas mais elevadas, ficando nas camadas superiores as parcelas de ar mais quentes (leves).

Assim, é na CLP que o comportamento das propriedades meteorológicas como velocidade do vento, umidade, temperatura do ar e concentração de CO<sub>2</sub> podem ser examinados estaticamente.

A chamada Camada Limite Convectiva (CLC) ou Camada de Mistura ocorre durante o dia e é caracterizada por grandes intensidades de turbulência, esta é gerada pelo cisalhamento do vento, mas também pela convecção originada do aquecimento da superfície. Devido a turbulência intensa, pode atingir alturas de mais de 2km. Já a Camada Limite Estável (CLE) ocorre durante a noite, quando o resfriamento radiativo da superfície faz com que se forme uma camada de estratificação térmica estável. Nesse caso, não há convecção e as intensidades turbulentas são reduzidas drasticamente, podendo até cessar.

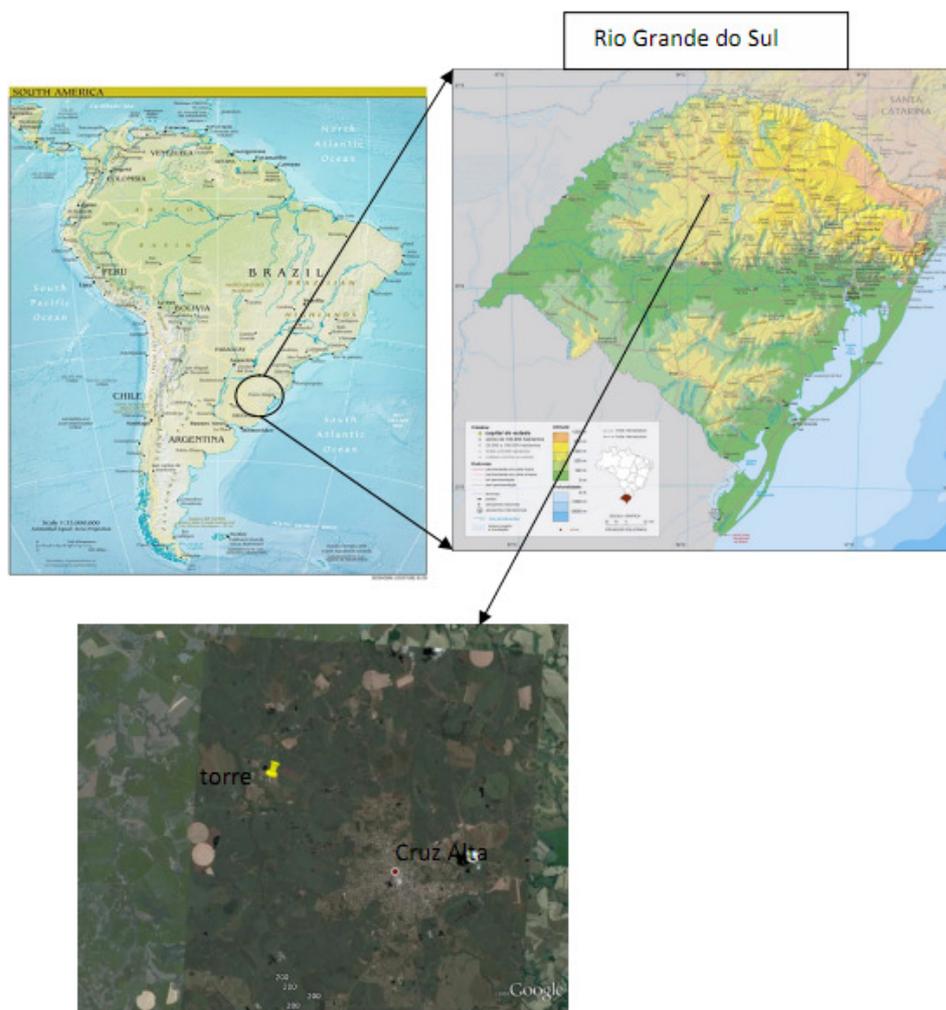
A espessura pode ir de poucas dezenas de metros, quando a estratificação é muito estável, até cerca de 400 – 500m quando há turbulência gerada mecanicamente pelo cisalhamento do vento (caso pouco estável). Já em condições muito estáveis, a turbulência pode ocorrer em eventos localizados no espaço e tempo produzindo enorme variabilidade.

A camada de estratificação térmica neutra que situa-se na CLE que só é turbulenta nas primeiras horas após o pôr do Sol, período a qual a turbulência está decaindo chamando-se de Camada Residual e não tem contato com a superfície, motivo pela qual não é camada limite. A região de transição entre a superfície e a atmosfera livre, a Camada de entranhamento, é uma fronteira aberta, pois os fluxos de entranhamento são responsáveis por importantes transportes de propriedades entre a camada limite e a atmosfera livre. Segundo Fisch (1995), a evolução dessas camadas está diretamente ligada à quantidade de energia disponível na superfície.

### 3 METODOLOGIA

#### 3.1 Descrição do sítio experimental e coleta de dados

As observações experimentais foram realizadas na área experimental da empresa CCGL-TEC em Cruz Alta (-28°36'S, -53°40' O, 425 m), noroeste do Rio Grande do Sul (Figura 6).



**Figura 6:** Localização do sítio experimental – Cruz Alta – RS (Fonte: [www.ufsm.br/sulflux](http://www.ufsm.br/sulflux)).

A economia do município de Cruz Alta é essencialmente agrícola, produzindo mais de 100mil toneladas de soja e cerca de 30 mil toneladas de trigo e o mesmo para o milho. O clima, segundo a classificação de Köppen (Moreno, 1961), é subtropical úmido, tipo Cfa 2a e exibe uma precipitação média anual de 1.755mm (média do período 1974 a 2006 – Estação Meteorológica da FUNDACEP), com chuvas distribuídas uniformemente durante o ano todo, podendo ocorrer períodos de estiagem em determinados anos. A temperatura média anual é de 18,7°C (média do período 1998 a 2006 – Estação Meteorológica da FUNDACEP), com médias de temperaturas mínimas de 8,6°C em julho e com temperaturas médias máximas de 30,0°C em janeiro (Moreno, 1961).

Na área do estudo um experimento foi instalado em 1985 com o objetivo de comparar diferentes sistemas de plantio e rotação de cultura agrícola nos diferentes aspectos. Os dados de concentração de CO<sub>2</sub> aqui utilizados são relativos aos coletados em uma parcela com dimensões de 40x60 m, cultivadas no sistema de plantio direto, onde uma torre micrometeorológica foi instalada em seu centro (Figura 7). Esta torre micrometeorológica pertence ao Laboratório de Micrometeorologia da Universidade Federal de Santa Maria (Lµmet- UFSM) e faz parte do projeto SULFLUX, ([www.ufsm.br/sulflux](http://www.ufsm.br/sulflux)). O *footprint* foi superior a 200m na direção oeste, em torno de 2000m para as outras direções, com direção predominante do vento sudeste.



**Figura 7:** Torre de observação utilizada nas medidas na área agrícola em Cruz Alta/RS. (Fonte: [www.ufsm.br/sulflux](http://www.ufsm.br/sulflux)).

O período analisado, neste estudo, foi de 01/01/2009 a 28/02/2011, houve rotação de culturas entre soja, aveia e milho, na área do experimento e em torno, numa área de aproximadamente 200 hectares cultivados com o sistema de plantio direto. As etapas de plantio, emergência, maturação e dessecação estão descritas no quadro 1.

<b>Etapa</b>	<b>Descrição</b>	<b>Data</b>
Etapa I	Semeadura da Soja	28/11/2008
	Emergência da Soja	04/12/2008
	Maturação da Soja	08/04/2009
	Colheita da Soja	25/04/2009
Etapa II	Preparo Inverno: Aração e Gradagem	28/05/2009
	Dessecação da resteva de Soja	15/06/2009
Etapa III	Semeadura da Aveia	15/06/2009
	Emergência da Aveia	22/06/2009
	Dessecação e replantio da Aveia devido a geada	28/07/2009
	Coleta MS Aveia	06/11/2009
Etapa IV	Dessecação da Aveia	10/11/2009
	Aração	27/11/2009
	Gradagem	08/12/2009
	Segunda Dessecação	11/12/2009
Etapa V	Semeadura da soja	14/12/2009
	Emergência da Soja	19/12/2009
	Colheita da Soja	13/04/2010
Etapa VI	Aração e Gradagem	16/04/2010
Etapa VII	Semeadura da Aveia e Ervilhaca	13/05/2010
Etapa VIII	Dessecação e aração da Aveia e Ervilhaca	18/09/2010
Etapa IV	Semeadura do milho	01/10/2010
	Colheita do milho	03/04/2011

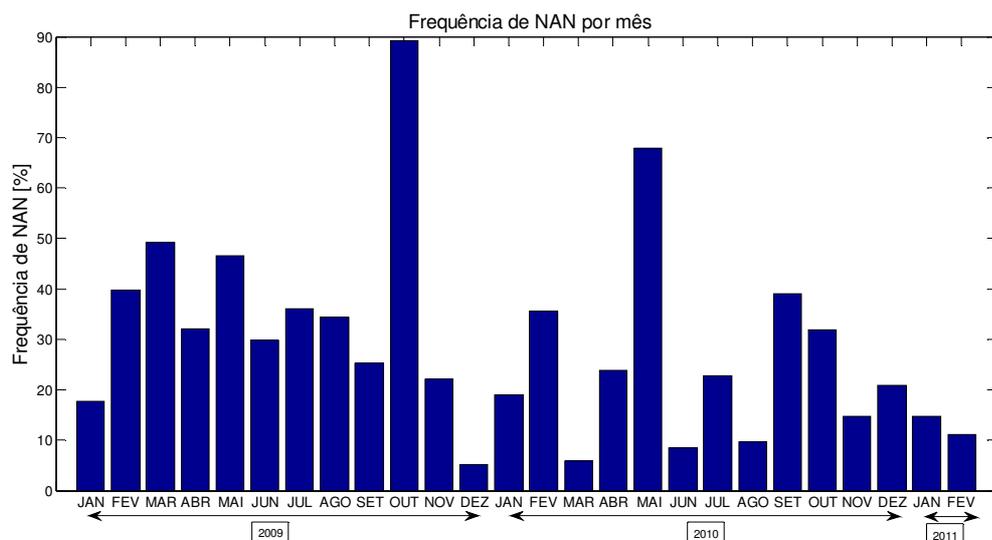
**Quadro 1:** Descrição da rotação de cultura no período de 2008 a 2011 em Cruz Alta/RS

Os dados de concentração de CO<sub>2</sub> foram obtidos através de um analisador de gás infravermelho, LI-COR - LI7500, localizado a 2,5m de altura medindo a uma frequência de 10Hz onde médias de 30 minutos foram realizadas.

### 3.2 Controle de Qualidade

A ausência ou falha nos dados é um problema comum em medidas micrometeorológicas de longo prazo, seja por falhas dos equipamentos, manutenção do sistema, problemas em sensores, falta de energia, falha humana, coleta de dados, controle de qualidade dos dados, entre outros. A concentração de CO<sub>2</sub> (ppm) foi estimada em períodos de 30 minutos e os períodos que apresentaram dados fisicamente inconsistentes (ou seja, valores de CO<sub>2</sub> < 280 ppmv ou > 400 ppmv) foram descartados. Optou-se por não preencher essas as falhas.

A figura 8 apresenta a frequência mensal de falha nos dados. Em média ocorreram em torno de 30% de falhas nos dados. Particularmente no mês de Outubro de 2009 houve falhas em 89,2% dos dados.



**Figura 8:** Frequência de falhas nos dados de Concentração de CO<sub>2</sub> entre os meses de janeiro de 2009 e fevereiro de 2011.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 Caracterização Climática

A caracterização climática adquire relevância uma vez que sua configuração pode facilitar ou dificultar a fixação do homem e o desenvolvimento de suas atividades nas diversas regiões do planeta. Desses elementos climáticos, a precipitação e a temperatura têm papel ponderante no desenvolvimento das atividades humanas, o que resulta em conseqüências na economia. A importância econômica da agricultura na região Noroeste do Rio Grande do Sul, onde está localizado o município de Cruz Alta, é um aspecto que contribui para a necessidade de análise mais detalhada da variabilidade da precipitação.

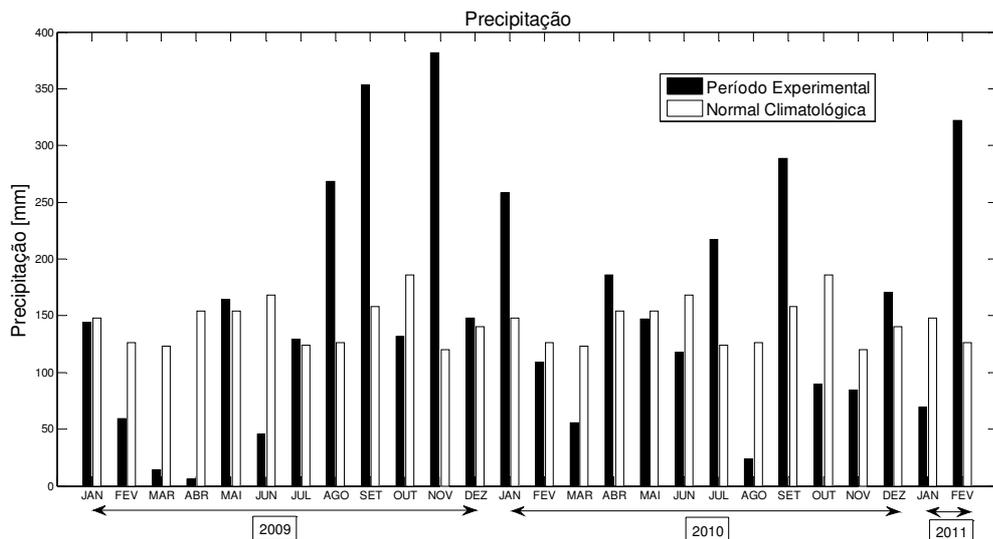
A variabilidade inter-anual de precipitação no Rio Grande do Sul é explicada parcialmente pela variabilidade do fenômeno El Niño-Oscilação Sul (ENOS) (Silva et al, 2008).

No Rio Grande do Sul o El Niño produz precipitação acima da média climatologia em quase todos os meses do ano, mas o período de maior influência é na primavera, início de verão. Ao contrário de La Niña que ocasiona precipitação abaixo da média climatológica (estiagem), sendo o período principal o mesmo do El Niño. Eventos de El Niño e La Niña tem uma tendência a se alternar a cada 3-7 anos. Porém, de um evento ao seguinte o intervalo pode mudar de 1 a 10 anos. As intensidades dos eventos variam bastante de caso a caso.

Entre os aspectos pluviométricos mais marcantes em Cruz Alta/RS, ressalta-se o fato das chuvas caírem de forma bastante uniforme, tanto temporalmente quanto espacialmente, como se pode observar na figura onde mostra as normais climatológicas para esse local. Mas esse fato não deve ser interpretado como uma situação de absoluta constância no clima. Em determinados anos (El Niño) a precipitação torna-se tão abundante que chega atingir totais pluviométricos equivalentes ao dobro da média climatológica (Nimer, 1990), enquanto que em outros o decréscimo de precipitação é tão notável (La Niña) que o valor acumulado é menor do que a metade da média climatológica.

Nos anos de 2009 e 2010, analisados nesse trabalho, foram de El Niño, mas sua intensidade foi considerada fraca, já o ano de 2011 caracteriza-se pelo começo da La Niña, considerada de intensidade fraca, neste ano.

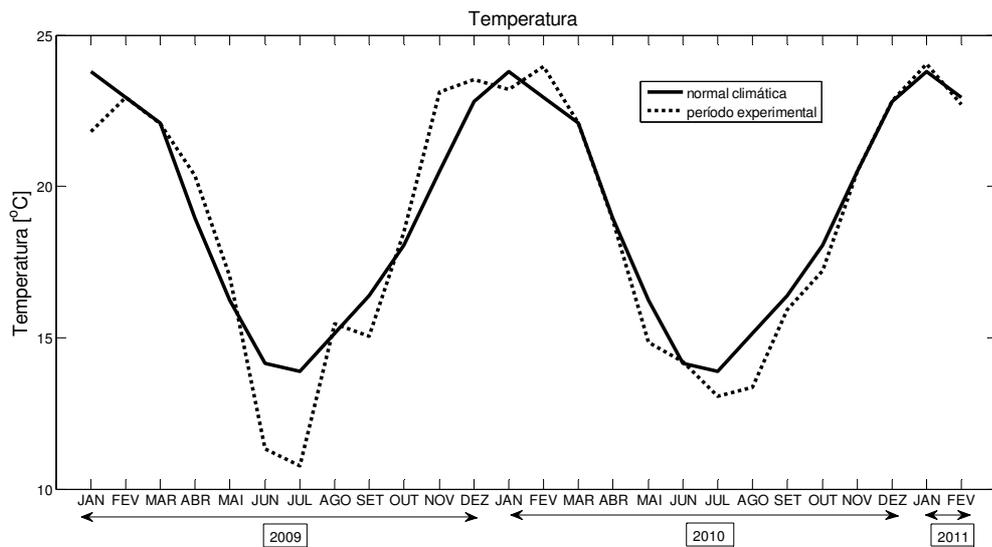
Comparando dados de precipitação média, no período estudado, com os dados climatológicos na região de estudo (figura 9), verifica-se que a precipitação média aferida foi acima das médias climatológicas em alguns meses, sendo que em novembro de 2009, um dos meses significativos para o El Niño, a diferença foi de 262mm. Os meses de novembro e dezembro de 2009 e janeiro de 2010 apresentam uma média de precipitação relativamente elevada, uma diferença cerca de 126,6mm entre a média desses três meses.



**Figura 9:** Média Climatologia e média mensal do período experimental da precipitação em Cruz Alta/RS

E nos meses de fevereiro, março e abril de 2009 pode-se notar que a precipitação média ficou bem abaixo da esperada normal climatológica, 108mm abaixo da média esperada para esses três meses.

Analisando os dados de temperatura, no período estudado, verifica-se que as temperaturas aferidas estão de acordo das médias climatológicas (figura 10) para o local de estudo. Apenas verifica-se um inverno mais rigoroso em 2009, com médias de temperaturas em julho de 10,7°C, sendo que a normal climatológica para esse mês é de 13,9°C, uma diferença de 3,2°C.



**Figura 10:** Média Climatológica e média mensal do período experimental da temperatura em Cruz Alta/RS

#### 4.2 Condições de tempo nas fases dos cultivos

A variabilidade da produção agrícola no RS, como a da soja e do milho, é correlacionada à ocorrência do fenômeno ENOS (Berlato et al. 2001; Berlato e Fontana, 2005; Bergamaschi et al. 2004) onde em eventos úmidos (El Niño) a produção nas safras agrícolas de soja e milho é maior do que em eventos secos (La Niña).

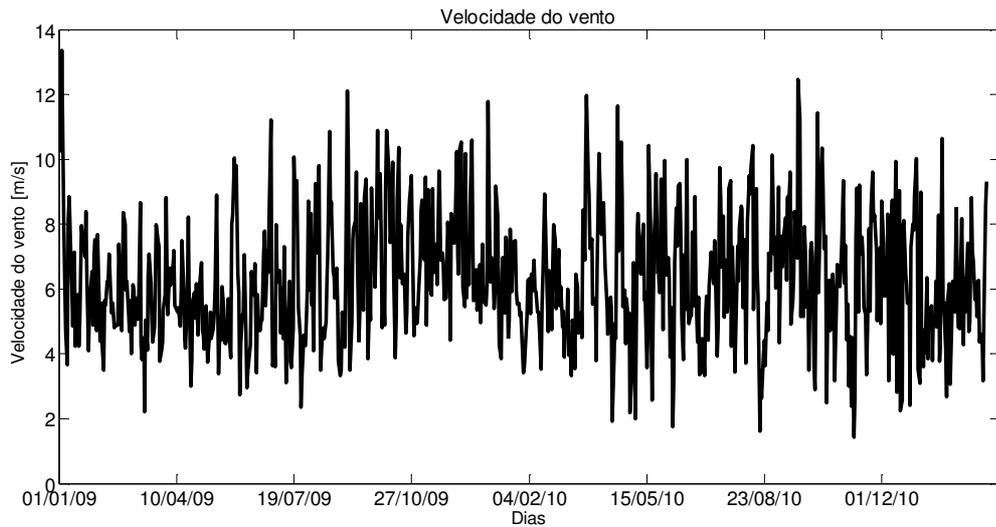
Segundo Camargo et al. (1974), o milho e a soja são culturas de verão que possuem exigências climáticas semelhantes e encontram condições satisfatórias em climas tropicais, subtropicais e temperados.

A soja melhor se adapta a temperaturas do ar entre 20°C e 35°C, e a temperatura ideal para o seu crescimento e desenvolvimento está em torno dos 30°C. O crescimento vegetativo da soja é pequeno ou quase nulo a temperaturas menores ou iguais a 10°C. Temperaturas acima de 40°C têm efeito adverso na taxa de crescimento, provocando distúrbios na floração e diminuição na capacidade de retenção de vagens.

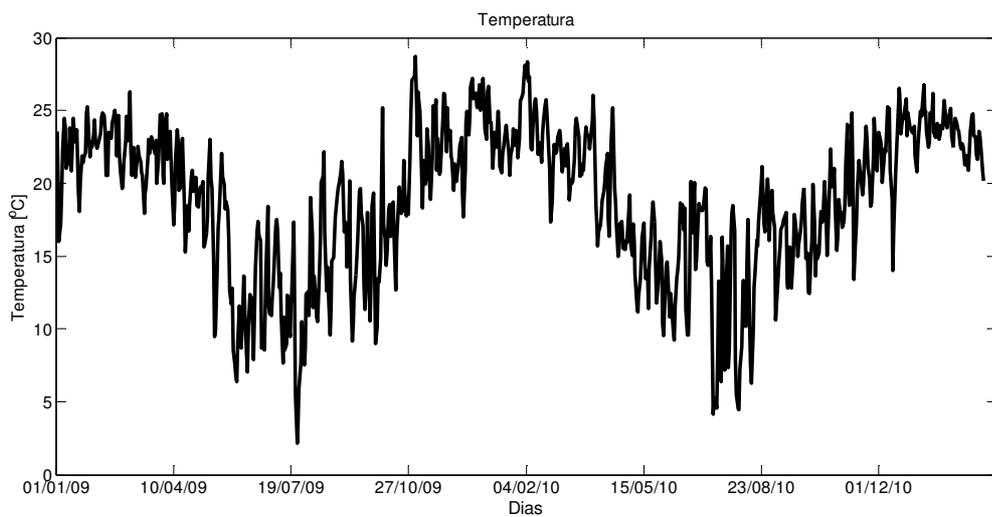
As médias diárias da velocidade do vento, temperatura e radiação global do período estudado são mostradas nas figuras 12a, 12b e 12c, respectivamente. Nota-se a variabilidade sazonal característica da latitude de -30° para a radiação global e

conseqüentemente para a temperatura. A velocidade do vento (figura 11a) não apresenta sazonalidade marcante, com valor médio de 6,25m/s para todo o período.

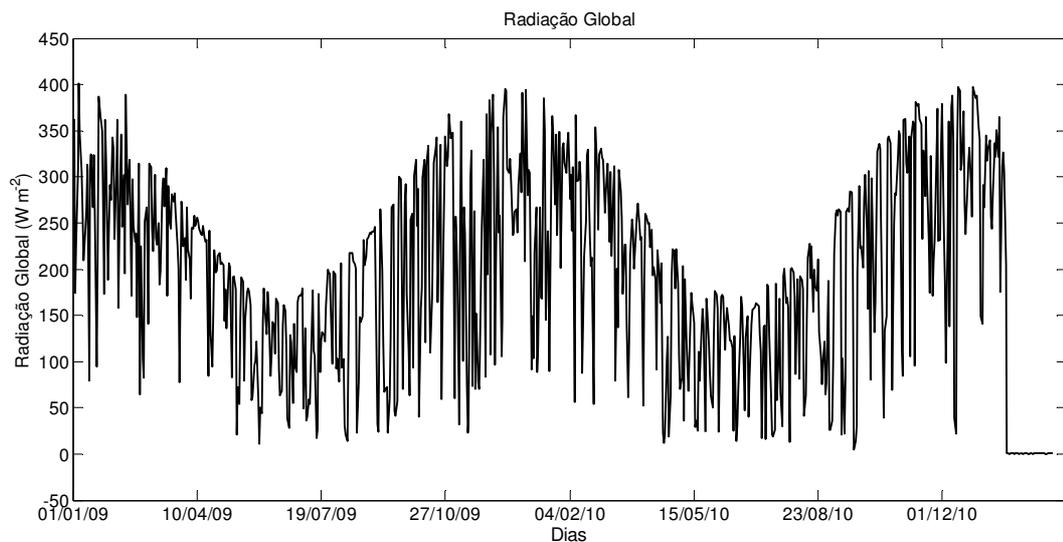
No período estudado, a temperatura e precipitação foram adequadas para os cultivos agrícolas da região.



**Figura 11a:** Média diária, no período experimental, da velocidade do vento em Cruz Alta/RS



**Figura 11b:** Média diária, no período experimental, da temperatura em Cruz Alta/RS



**Figura 11c:** Média diária, no período experimental, da radiação global em Cruz Alta/RS

A temperatura média do ar apresentou valores máximos em torno de 26,3°C em 04/03/2009, entre a emergência e a maturação da soja (Etapa I), 28,6°C em 02/11/2009 quatro dias antes da coleta da aveia e 26,7°C em 08/01/2011, também entre a emergência e a maturação da soja (Etapa V), como mostra a figura 11b. Os valores mínimos da temperatura média do ar foram 2,1°C em 24/07/2009, quando houve uma forte geada e logo após dia 28/07/2009 foi feita a dessecação e replantio da aveia, e dia 03/06/2010 4,1°C durante a maturação da aveia.

Na fase de emergência e maturação da soja, a temperatura permaneceu entre 16°C e 26°C, e está compreendida a faixa de temperatura ótima do ar para a assimilação de CO<sub>2</sub>.

Durante o período de avaliação, as temperaturas do ar foram próximas as normais climatológicas (figura 9), com exceção de junho e julho, quando as temperaturas estavam baixas, levando a uma intensa geada que matou a aveia-preta, que foi semeada no dia 15 de junho de 2009, sendo replantada dia 28 de julho de 2009.

Outro fator que mais limita o crescimento e desenvolvimento das plantas é a radiação solar global (Taiz; Zieger, 2004), que está intimamente ligada à temperatura atmosférica. A radiação solar global pode ser classificada em duas fases: (i) direta quanto não há interferência em atingir a superfície da Terra, com baixo comprimento de onda (inferior a 3000nm) e (ii) difusa, radiação térmica (superior a 3000nm),

quando a radiação é refletida ou espalhada por nuvens e pela atmosfera (Goudriaan; Van Laar; 1994). O espectro da radiação de baixo comprimento de onda inclui a faixa de radiação visível (entre 400nm e 700nm), que é particularmente importante por ser a radiação fotossinteticamente ativa (RFA) (Kubins, 1971), ou seja, a radiação solar global é a principal fonte de energia para a fotossíntese.

A figura 11c mostra os valores de radiação solar global ao passar dos dias durante todo o experimento, nota-se que seu comportamento é similar ao comportamento da temperatura (figura 11b). Nas estações primavera-verão a radiação solar global é maior, cerca de  $250\text{Wm}^{-2}$  e nas estações outono-inverno, cerca de  $100\text{Wm}^{-2}$ .

Embora o milho responda a interação dos diversos fatores climáticos, os de maior influência sobre a cultura são a radiação solar, a precipitação e a temperatura. Esses fatores atuam eficientemente nas atividades fisiológicas interferindo diretamente na produção de grãos e matéria seca (EMBRAPA, 2010). O milho apresenta taxa fotossintética elevada, respondendo com elevados rendimentos ao aumento da intensidade luminosa. A temperatura representa o fator mais limitante, a temperatura ideal para o desenvolvimento do milho, da emergência à floração, está compreendida entre 24 e 30°C (Ferreira, 2005). A temperatura média durante os meses de cultivo do milho, outubro de 2010 a fevereiro de 2011, foi de 21,5°C, mas também sabe-se que o milho obtém maior produção de matéria seca e maior rendimento de grãos na temperatura de 21°C.

A radiação solar é um dos parâmetros de extrema importância para a planta de milho, sem a qual o processo fotossintético é inibido e a planta é impedida de expressar o seu máximo potencial produtivo. Grande parte da matéria seca do milho, cerca de 90%, provém da fixação de  $\text{CO}_2$  pelo processo fotossintético. Nota-se, na figura 11c, que a média diária da radiação global começa a crescer no decorrer dos meses de cultivo.

O milho não é muito exigente em umidade, suporta pequenas deficiências hídricas no início do crescimento, forçando o desenvolvimento do sistema radicular. Foi observado que logo após o plantio do milho, na área e período estudado, que a média de precipitação durante os dois primeiros meses após o plantio (outubro/10 e novembro/10) foi abaixo da normal climática esperada para esses meses, uma diferença média de 66mm. A ocorrência de estresse hídrico durante os períodos mais críticos, compreendidos entre a floração e enchimento de grãos, pode levar a

baixos níveis de produtividade do milho. Segundo Camargo et al. (1974), o milho pode ser cultivado em regiões de precipitação anual entre 250mm e 5000mm. Um mínimo de 200mm no verão é indispensável para a produção da cultura sem irrigação. Segundo Mota (1983), a variabilidade anual da produtividade da cultura de milho no Rio Grande do Sul está associada com a ocorrência de secas (ocasionadas pelo evento La Niña), sendo que a irrigação é uma possível solução para o problema.

A aveia preta (*Avena strigosa*) é planta de clima temperado, que pode ser cultivada em diferentes condições climáticas e para diversos fins, como a produção de grãos para alimentação humana e animal, forragem e cobertura do solo, além de servir como adubação verde e como inibidora da infestação de invasoras (alelopatia). A aveia tem importante papel no sistema de produção de grãos, principalmente no sul do Brasil, caracterizando-se por ser uma excelente alternativa para o cultivo de inverno e em sistemas de rotação de culturas.

O cultivo da aveia pode ser desenvolvido em altitudes que vão desde o nível do mar até mil metros. A aveia requer baixas temperaturas, da germinação à fase de enchimento de grãos, sendo considerada uma planta de estação fria. O crescimento da cultura é paralisado sob temperaturas de, aproximadamente, 0°C, sendo que a mortalidade de plantas ocorre sob temperatura de -10°C, para cultivares de aveia de primavera e, de -14°C, para cultivares de inverno. A temperatura considerada ideal para obtenção de rendimentos elevados varia de 9°C a 15°C entre os estádios de emissão da panícula e a maturação. Segundo os dados analisados, durante o cultivo da aveia, tanto no ano de 2009 quanto no ano de 2010, a temperatura média, nos cinco meses de cultivo, foi de 14,2°C aproximadamente, sendo assim, adequada. Mas houve um inverno mais rigoroso em 2009, com médias de temperaturas em julho de 10,7°C, como já comentado antes, com valor mínimo da temperatura média do ar de 2,1°C em 24/07/2009, quando ocorreu uma forte geadas.

A ocorrência de chuvas após a maturação é prejudicial à produção, quando destinada à indústria de alimentação, por conferir coloração escura ao grão, condição indesejável para fabricação de flocos ou farinhas. Nesse período o excesso de chuva reduz o potencial de rendimento, causado pela menor insolação, diminuindo o peso hectolitro dos grãos. Nos dois anos de observação do cultivo da aveia, 2009 e 2010 houve uma precipitação acima da média climática, registrada nos

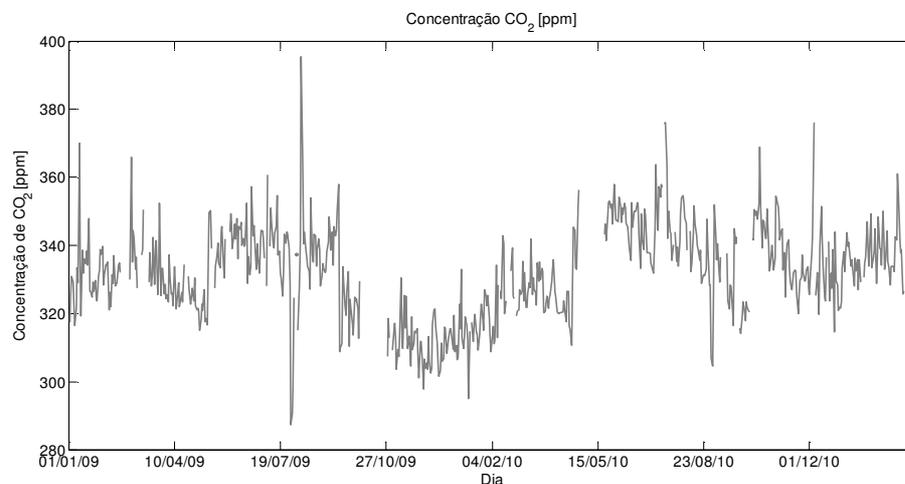
meses de setembro, sendo que a diferença em setembro de 2009 foi de 195mm e em setembro de 2010 de 131mm.

### 4.3 Concentrações de CO<sub>2</sub>

#### 4.3.1 Sazonalidade anual da concentração de CO<sub>2</sub>

Medir a concentração de CO<sub>2</sub> na atmosfera não é uma tarefa simples, pois os equipamentos precisam de calibração constante. Para cada configuração de temperatura e pressão, é necessária uma calibração (Gatti, 2011), ou seja, calibração automática. Os equipamentos utilizados neste trabalho não sofreram esse tipo de calibração, o que não impede de os dados possam ser usados para a estimativa de fluxos de CO<sub>2</sub> pelo método *eddy covariance*. No entanto, afirmar o valor da concentração atmosférica de CO<sub>2</sub> através destas medidas não é correto.

Desta forma, exploraremos as diferenças sazonais na concentração de CO<sub>2</sub>, e suas diferentes amplitudes, mostrando suas relações com a temperatura e radiação global. A figura 12 mostra a média diária da concentração de CO<sub>2</sub> durante todo o período experimental, observa-se uma sazonalidade na concentração de CO<sub>2</sub>, há uma diferença na magnitude desta variável entre períodos de outono-inverno e primavera-verão.

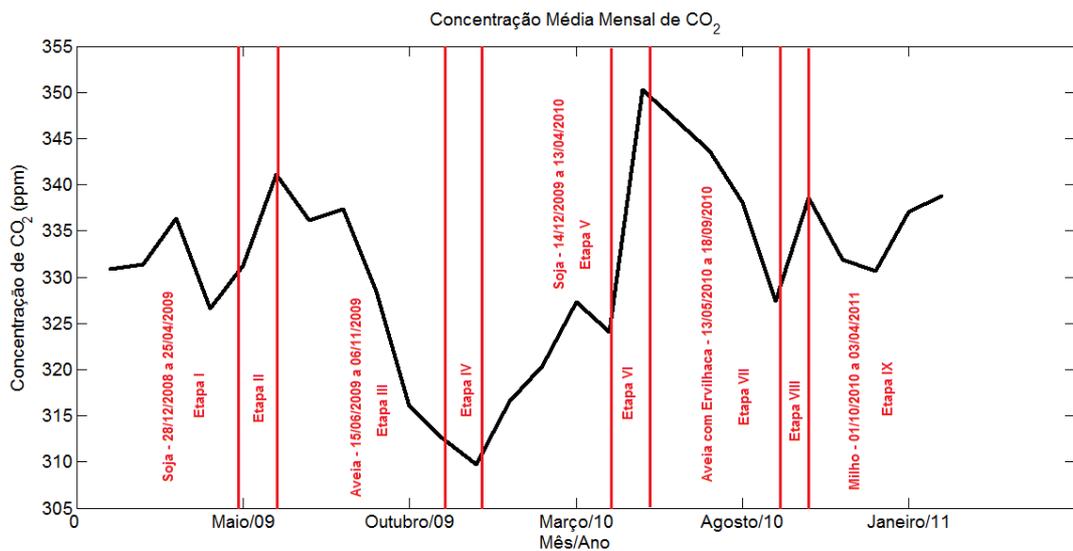


**Figura 12:** Concentração média diária de CO<sub>2</sub> na área agrícola de Cruz Alta/RS no período de 01/01/2009 a 28/02/2011.

Leal et al., (2006) mostrou que as variáveis meteorológicas que influenciam na concentração de CO<sub>2</sub>, acima e abaixo do dossel vegetativo da floresta amazônica em Caixuanã, estado do Pará, são a precipitação, a temperatura do ar, a radiação solar global, e a velocidade do vento. Desta forma, nas próximas seções a variação inter-anual aqui apresentada é discutida, comparando com a sazonalidade na temperatura, precipitação, radiação global e cobertura do solo. A velocidade do vento não será analisada, pois as análises seguintes serão realizadas para períodos mensais e inter-anuais, para os quais a essa variável não apresenta significativa variação, conforme figura 11a.

#### 4.3.2 Sazonalidade anual da concentração de CO<sub>2</sub> em relação ao cultivo

Na figura 13, que mostra a concentração média mensal de CO<sub>2</sub>, percebe-se que, além da sazonalidade anual, pode ocorrer uma diferença de magnitude nos diferentes anos. Um exemplo é o mês de janeiro, dos três anos analisados, nota-se que a concentração média mensal de CO<sub>2</sub> variou.



**Figura 13:** Concentração mensal média de CO<sub>2</sub> do período estudado com a especificação dos tipos de culturas por período.

A relação entre a concentração média mensal de CO<sub>2</sub> com o tipo de cultura em cada período também é apresentada na figura 13, sem destacar a sua fase de crescimento, que é mostrada no quadro 1. O cultivo de soja compreende as etapas I e V, cultivo de aveia, as etapas III e VII, cultivo de milho é representado pela etapa XI e etapas onde há apenas aragem, gradação, preparo do solo são as etapas II, IV, VI e VIII.

Nas etapas I e V, que compreendem o ciclo da soja, desde a semeadura até a colheita, entre a semeadura e aproximadamente um mês antes da soja entrar em fase de maturação, há um aumento significativo na concentração de CO<sub>2</sub>, mas depois até chegar à maturação a concentração diminui de 336,3ppm (março/09) para 326,6ppm (abril/09), etapa I, e de 327,3ppm (março/10) para 324,1ppm (abril/10), na etapa V, ou seja, é durante esse período que a planta necessita mais CO<sub>2</sub> da atmosfera para a fotossíntese.

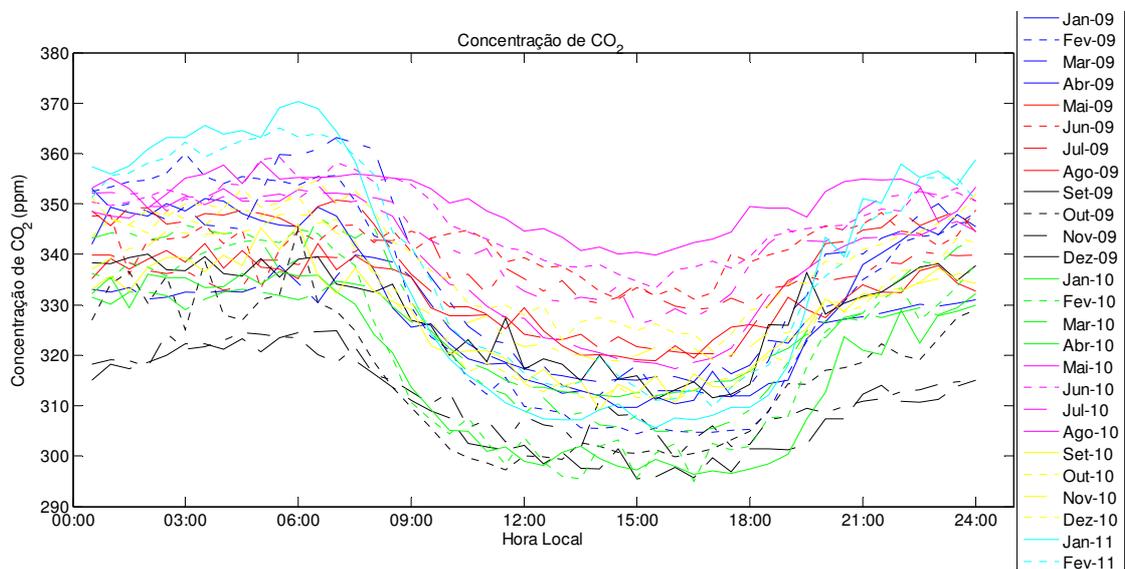
No mês de abril, tanto de 2009 quanto de 2010, quando é feita a colheita, há um notável aumento nas concentrações, mostrando que a inexistência da planta, inexistência da fotossíntese, aumentando a concentração de CO<sub>2</sub>. Segundo Sánchez et al. (2010) quando há o crescimento da planta, há uma diminuição da concentração de CO<sub>2</sub> na atmosfera, que usa o CO<sub>2</sub> para fazer a fotossíntese e aumenta quando as plantas morrem ou são colhidas, liberando CO<sub>2</sub>.

Nas etapas II, VI e VIII, que são períodos de aproximadamente um mês, mostram uma elevação na concentração de CO<sub>2</sub>, justamente pelo fato de serem períodos de aração e preparação do solo para o próximo plantio. Nesse período não há fotossíntese nem respiração de plantas, pois estas já foram colhidas e o que resta no solo já está em processo de dessecação, o que justifica o aumento da concentração de CO<sub>2</sub>. Apenas na etapa IV que também é um período de preparação do solo há uma diminuição da concentração de CO<sub>2</sub>, pois o período que abrange essa etapa é o mês de novembro de 2009, e esse mês teve a maior média de precipitação, no período analisado, com 382mm, justificando assim a baixa concentração de CO<sub>2</sub>.

As etapas III e VII representam o período de cultivo de aveia, aonde a concentração de CO<sub>2</sub> vai diminuindo ao longo no crescimento da planta até a morte por dessecação.

#### 4.4 Análises das concentrações de CO<sub>2</sub> nos meses de janeiro e junho

A Figura 14 apresenta o ciclo diário médio mensal de concentração de CO<sub>2</sub> durante todos os meses do período analisados. A sazonalidade anual é evidente, além de uma grande variabilidade na concentração diurna e noturna entre os meses de verão e de inverno.



**Figura 14:** Ciclo diário médio mensal da concentração de CO<sub>2</sub> durante todo o período estudado em Cruz Alta/RS.

A máxima média mensal de concentração de CO<sub>2</sub> foi de 350,2ppm em maio de 2010, onde a média de precipitação foi de 147mm e a mínima de 309,7ppm em dezembro de 2009 com média de precipitação de 148mm, apresentando uma diferença significativa na concentração de 40,5ppm, mas na média de precipitação não há diferença praticamente. Notando que o período do mês de maio de 2010 foi de preparo do solo para o plantio da aveia e que metade do mês de dezembro de 2009 também compreende ao preparo do solo, mas que há o plantio da soja no dia 14 de dezembro de 2009 com sua emergência cinco dias depois, mesmo assim a média desse mês ficou abaixo da média de maio de 2010. Como o processo de fotossíntese-respiração começou a existir depois desse plantio, pode-se concluir que

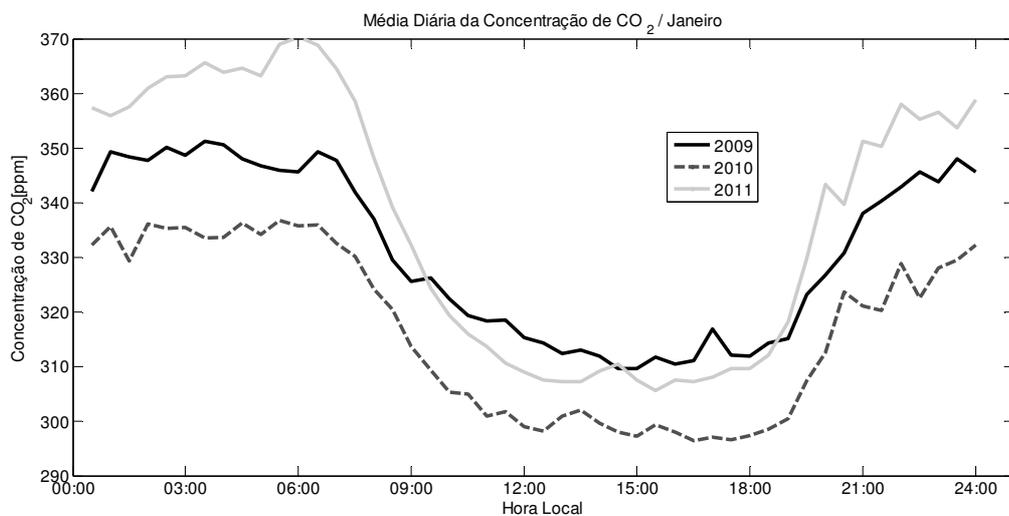
a concentração de CO<sub>2</sub> nesse mês de dezembro foi baixa devido à planta necessitar da fixação de carbono na forma de biomassa aérea e radicular.

Para uma análise mais detalhada foram utilizadas as médias horárias mensais dos meses de janeiro e junho do período de estudo, juntamente com as medias horárias mensais temperatura do ar, radiação global média e a média mensal da precipitação.

A figura 15 mostra o ciclo diário médio mensal da concentração de CO<sub>2</sub> para o mês de janeiro dos anos de 2009, 2010 e 2011. O quadro 2 apresenta os valores médios máximos e mínimos horários da concentração de CO<sub>2</sub> para os meses de janeiro. Observa-se que no ano de 2010 o valor máximo e mínimo da média horária de concentração de CO<sub>2</sub> foi menor que nos outros dois anos.

	Janeiro/2009		Janeiro/2010		Janeiro/2011	
Concentração de CO <sub>2</sub>	Máxima 351,2ppm	Mínima 309,7ppm	Máxima 336,6ppm	Mínima 296,3ppm	Máxima 370ppm	Mínima 305,6ppm
Horário	3h	14h	5h	16h	5h30mim	15h
Etapa do cultivo	Emergência/Maturação da Soja - Etapa I		Emergência/Maturação da Soja - Etapa V		Emergência/Maturação do Milho - Etapa IX	

**Quadro 2:** Valores médios máximos e mínimos de concentração de CO<sub>2</sub> durante os meses de Janeiro de 2009, 2010, 2011 em Cruz Alta/RS

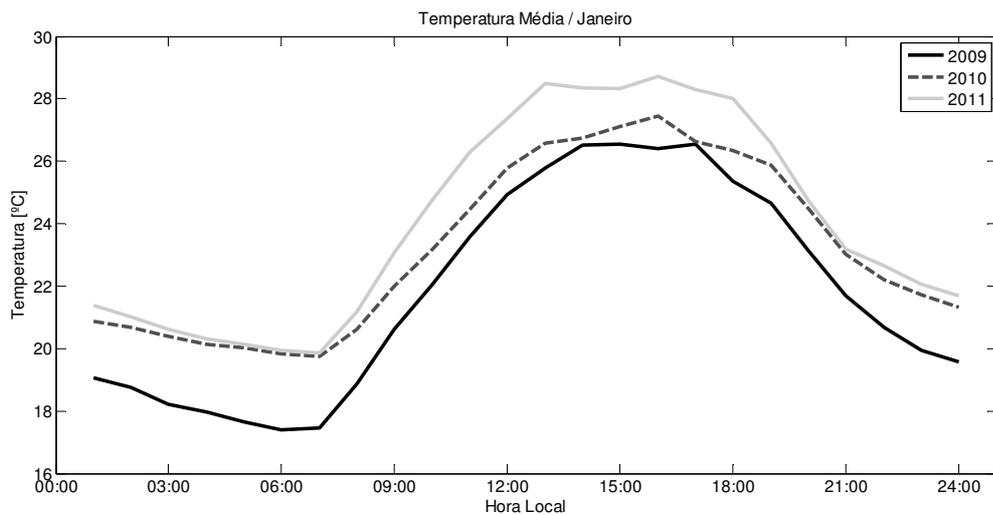


**Figura 15:** Ciclo diário médio mensal da concentração de CO<sub>2</sub> nos meses de Janeiro de 2009, 2010, 2011 em Cruz Alta/RS

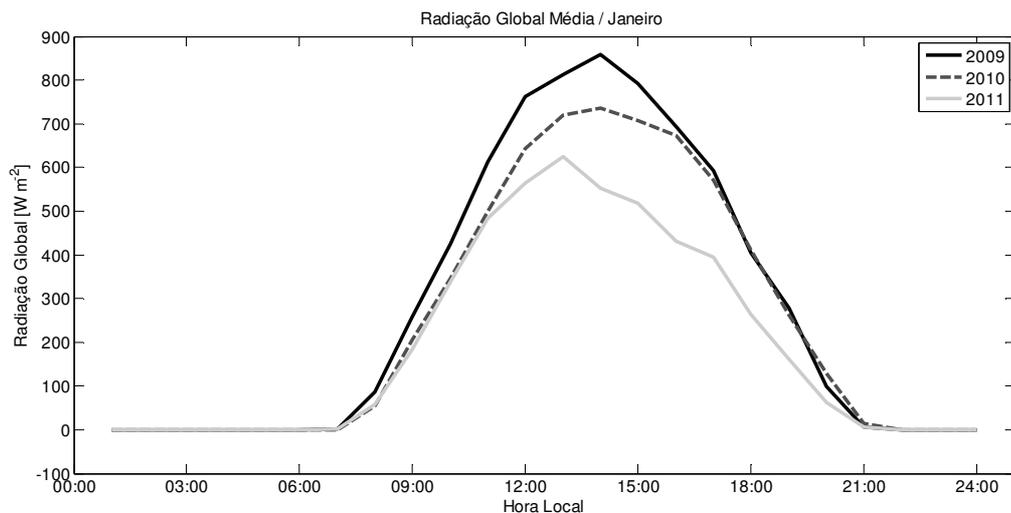
Analisando a média horária da concentração de CO<sub>2</sub> para os três janeiros, nota-se que pós o nascer do sol, depois das 06h, a concentração diminui rapidamente até atingir certa estabilização por volta das 09h30min. A partir desse horário varia pouco, voltando a subir aproximadamente às 18h, em todos os três anos. Ou seja, há uma mistura no interior da camada limite convectiva (CLC) implicando na diminuição da concentração de CO<sub>2</sub> durante o dia. Também é importante salientar que após o pôr do Sol houve a liberação de CO<sub>2</sub> para a atmosfera, não de forma instantânea, mas no decorrer do período noturno provando que a planta deixou de consumir para liberar CO<sub>2</sub>, pela ausência de luz solar. Esse fato também pode ser associado a uma intensa diminuição da turbulência atmosférica noturna para produzir esta grande dispersão dos valores noturnos em relação ao diurno.

As figuras 16 e 17 mostram a média horária da temperatura e da radiação global, respectivamente, para os meses de janeiro. Esses meses compreendem a etapa de emergência/maturação da soja, tanto no ano de 2009 quanto de 2010 e na emergência/maturação do milho em 2011, observa-se um crescimento nos valores da temperatura em seu ciclo diário médio mensal, assim como a média mensal da temperatura que também aumenta ao passar dos anos, 21,8°C para 2009, 23,2°C para 2010 e 24°C para 2011 (figura10).

A média diária da radiação global, ao passar dos anos diminui, ou seja, a média diária da radiação global em 2009, com máxima de 858,4Wm<sup>-2</sup>, é mais alta que em 2010, com máxima de 735,8Wm<sup>-2</sup> e é mais alta que 2011, que tem máxima de 625 Wm<sup>-2</sup>.



**Figura 16:** Temperatura média nos meses de Janeiro de 2009, 2010, 2011 em Cruz Alta/RS.



**Figura 17:** Radiação global média nos meses de Janeiro de 2009, 2010, 2011 em Cruz Alta/RS.

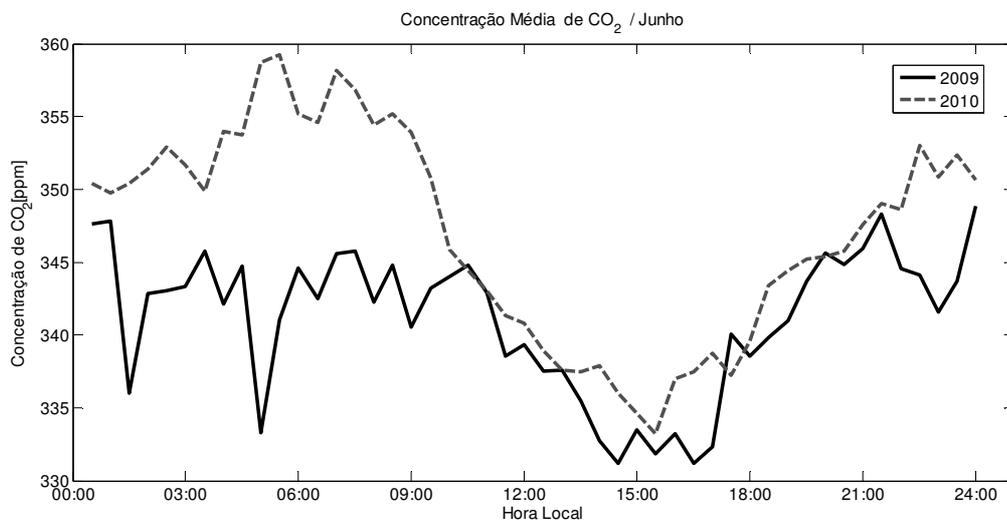
Quanto à precipitação (ver figura 9), a média de janeiro de 2009 foi de 144mm, janeiro de 2010 de 258mm e a de janeiro de 2011 a média foi de 69,2mm, ou seja, há uma diferença significativa entre o janeiro de 2010 (mais chuvoso) e janeiro de 2011 (menos chuvoso) de 188,8mm. Nos meses mais chuvosos a média da concentração de CO<sub>2</sub> diminui (figura 13), ou seja, para janeiro de 2010 que foi o mês de janeiro mais chuvoso, a média de concentração de CO<sub>2</sub> foi de 316,6ppm e para janeiro de 2011, janeiro menos chuvoso a média de concentração foi de

337,1ppm. As médias entre janeiro de 2009 (330,9ppm) e janeiro de 2011 (337,1ppm) também não são significativas, mas quando comparadas com janeiro de 2010 (309,7ppm) a diferença se torna significativa já que nesse mês de janeiro de 2010 houve maior média de precipitação, cerca de 258mm.

A figura 18 mostra a média horária de concentração de CO<sub>2</sub> para o mês de junho dos anos de 2009 e 2010. O quadro 3 apresenta os valores médios máximos e mínimos horários da concentração de CO<sub>2</sub> para os meses de junho. Observa-se, pelo quadro 3, que no ano de 2009 o valor máximo e mínimo da média horária de concentração de CO<sub>2</sub> foram menores que em 2010, assim como, praticamente, todos os outros valores se mantiveram abaixo dos encontrados em 2010 (figura 18).

	Junho/2009		Junho/2010	
Concentração de CO <sub>2</sub>	Máxima 348,3ppm	Mínima 331,2ppm	Máxima 359,2ppm	Mínima 333,2ppm
Horário	21h	14h	5h	15h
Etapa do cultivo	Semeadura/Emergência da Aveia Etapa III		Emergência/Maturação da Aveia Etapa VII	

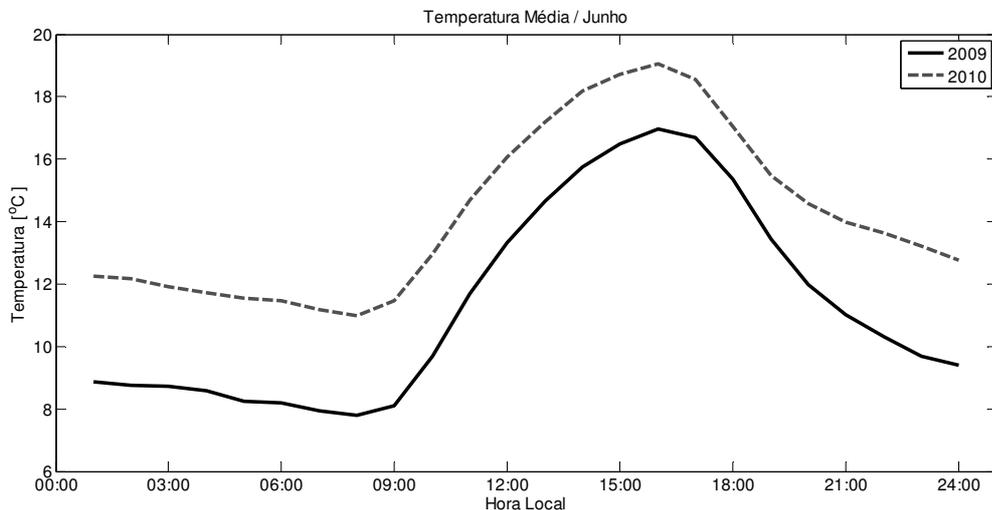
**Quadro 3:** Valores médios máximos e mínimos de concentração de CO<sub>2</sub> durante os meses de Junho de 2009, 2010 em Cruz Alta/RS.



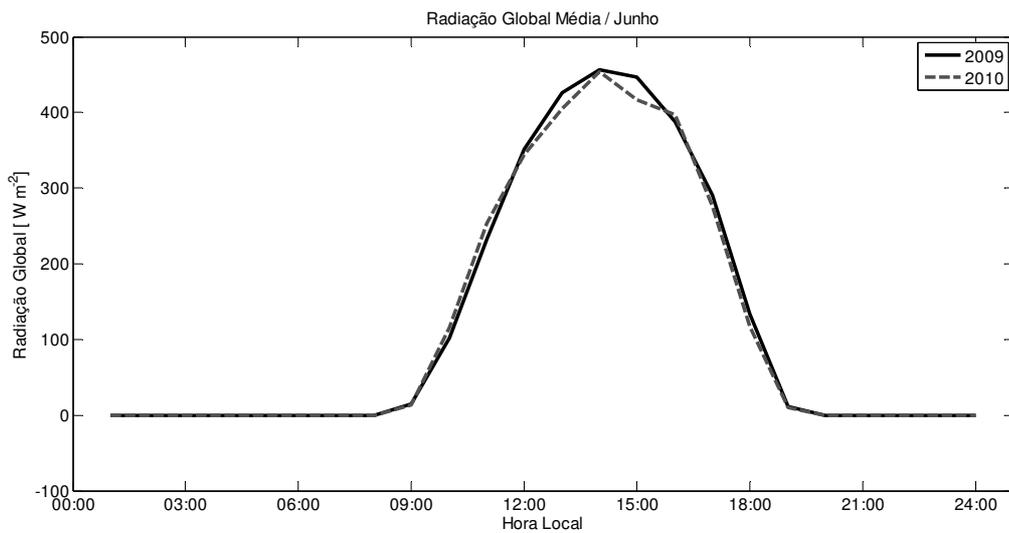
**Figura 18:** Concentração média de CO<sub>2</sub> nos meses de Junho de 2009, 2010 em Cruz Alta/RS.

Da figura 18 pode-se notar que nesses meses, após o nascer do sol, depois das 06h, a concentração diminui, mas não tão rapidamente e nem a diferença de amplitude entre o período noturno e diurno é consideravelmente expressivo, como nos meses de janeiro, atingindo certa estabilização por volta das 09h30min. A partir desse horário varia pouco, voltando a subir aproximadamente às 17h. Pode-se atribuir a forte diminuição da concentração de CO<sub>2</sub> durante o período noturno a um aumento da mistura turbulenta do ar próximo ao solo. Após o entardecer a concentração aumenta justamente quando a radiação global diminui, chegando a zero, ou seja, quando as plantas deixam de realizar fotossíntese pelo fato de não se ter mais luz solar.

Analisando as médias mensais da concentração de CO<sub>2</sub> de junho tem-se 341,1ppm em junho de 2009 e 347,1ppm em junho de 2010, indicando uma diferença na média de 6ppm, e a diferença entre as médias da precipitação entre esses dois meses, que foi de 71,6 mm também não foi tão significativa quanto a dos meses de janeiro.



**Figura 19:** Temperatura média nos meses de Junho de 2009 e 2010 em Cruz Alta/RS.



**Figura 20:** Radiação global média nos meses de Junho de 2009 e 2010 em Cruz Alta/RS.

Nos meses de junho, em que compreende a etapa de emergência/maturação da aveia, tanto no ano de 2009 quanto de 2010 observa-se que a temperatura atmosférica diária média também aumenta no decorrer dos anos, sendo a média mensal da temperatura, para junho de 2009, 11,3°C e para junho de 2010, 14,2°C, uma diferença de 2,9°C. A radiação global diária média apresenta um comportamento, quase que na sua totalidade, igualmente para os dois anos, possuindo máximas de 456,8Wm<sup>-2</sup> para os dois anos.

## 5 CONCLUSÕES

O presente trabalho mostra o comportamento da concentração de CO<sub>2</sub> em uma área agrícola no município de Cruz Alta, no estado do Rio Grande do Sul. O período avaliado foi de janeiro de 2009 a fevereiro de 2011. Através das médias diárias e mensais da concentração de CO<sub>2</sub>, pode-se dizer que uma sazonalidade anual e uma variabilidade inter-anual existem e que ela está intimamente ligada ao regime de precipitação, temperatura do ar e radiação global.

Para avaliar a sazonalidade anual da concentração de CO<sub>2</sub> durante o período de estudo optou-se por analisar separadamente os meses de janeiro dos anos de 2009 a 2011 e os meses de junho de 2009 e 2010. Nota-se uma diferença entre as médias mensais das concentrações de CO<sub>2</sub>, sendo que nos meses de janeiro esses valores foram mais baixos que nos meses de junho, com uma diferença média de 15,9ppm. Pode-se associar essa diferença, dentre outros fatores, que os meses de junho apresentaram menores valores no regime de precipitação, que os meses de janeiro.

Em relação às médias de temperaturas, pode-se notar que à medida que esses valores aumentam, a média mensal da concentração de CO<sub>2</sub> diminui que pode ser justificado também pela etapa de cultivo que há nesse período. Isso ocorre principalmente durante o cultivo da aveia, que há uma grande diminuição de CO<sub>2</sub>, onde as temperaturas começam a ficar mais elevadas, ou seja, a fotossíntese também é um fator determinante para os valores de concentração de CO<sub>2</sub> encontrados.

Outra característica é a diferença da amplitude noturna e diurna na concentração de CO<sub>2</sub>. Em janeiro/09 essa diferença foi de 41,5ppm, janeiro/10 40,3ppm e janeiro/11 64,4ppm e nos meses de junho/09 17,1ppm e junho/10 a diferença foi de 26ppm. Ou seja, a diferença de amplitude de concentração de CO<sub>2</sub> durante o dia é mais significativa nos meses de janeiro. Avaliando a variabilidade inter-anual conclui-se que há uma evolução das médias da concentração de CO<sub>2</sub> ao longo de todo o período estudado.

## 6 TRABALHOS FUTUROS

É evidente, neste trabalho, a necessidade de trabalhos futuros. É importante dar continuidade a extração de dados de concentração de CO<sub>2</sub>, primeiramente para se ter uma análise da evolução das médias mensais de concentração de CO<sub>2</sub> em longo prazo a fim de obter uma avaliação interanual mais consistente.

É necessário se estudar as médias de velocidade do vento e umidade relativa para se ter maior compreensão e mais precisão dessas conclusões. Estudar melhor o comportamento dessas variáveis também dia-a-dia.

O que não se pode também deixar de analisar é o fato da diferença de culturas, o que cada uma influencia nas medidas de concentração de CO<sub>2</sub>, dando atenção ao índice de área folhear, área radicular, etc.

Estudos feitos por Ghini (2005) ressaltam o efeito do aumento da concentração de dióxido de carbono atmosférico no desenvolvimento das plantas. A elevação do teor de CO<sub>2</sub> pode promover alterações no metabolismo, crescimento e processos fisiológicos das plantas, assim é de grande necessidade estudar quais efeitos fisiológicos da concentração de CO<sub>2</sub> nas plantações analisadas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BERLATTO, M. A. et al. **Relação entre o rendimento agrícola de grãos de soja e variáveis meteorológicas.** In: Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 27, n. 5, p. 695-702, 2001.

BERLATTO, M.; FARENZENA, H.; FONTANA, D. **Associação entre El Niño Oscilação Sul e a produtividade do milho no Estado do Rio Grande do Sul.** In: Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 40, n.5, 2005.

BERGAMASCHI, H. et al. **Distribuição hídrica no período crítico do milho e produção de grãos.** In: Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 39, set., n. 9, p. 831-839, 2004.

CAMARGO, A. P. et al. **Aptidão climática de culturas agrícolas.** In: VERDADE, F. C. (Coord.). Zoneamento agrícola do Estado de São Paulo. São Paulo: Governo do Estado de São Paulo, Secretaria da Agricultura, 1974. V.1, p.109.

CARNEIRO, V. J. **Fluxos turbulentos de CO<sub>2</sub> em uma área de arroz irrigado no RS, 2007** Dissertação de Mestrado em Física) UFSM – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2007.

CONWAY T. J.; TANS P. P.; WATERMAN L. S.; THONING K. K.; KITZIS D. R.; MASARIE K. A. & ZHANG N. **Evidence for interannual variability of the carbon cycle from the National Oceanic and Atmospheric Administration/ Climate Monitoring and Diagnostics Laboratory Global Air Sampling Network.** J. Geophysical Res., 99(D11): 22831–22855, 1994.

COSTA R. F. **Fluxos de dióxido de carbono em uma área de floresta na Amazônia Central.** Dissertação (Mestrado em agrometeorologia), Piracicaba/ SP: ESALQ/USP, p. 97, 2000.

COSTA, F. S.; BAYER, C.; ZANATTA, J. A.; MIELNICZUK, J. **Estoque de carbono orgânico no solo e emissões de dióxido de carbono influenciadas por sistemas de manejo no sul do Brasil.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 32, p.323-332, 2008a.

COSTA, F. S.; ZANATTA, J. A.; BAYER, C. **Emissões de gases de efeito estufa em agroecossistemas e potencial de mitigação.** In: SANTOS, G. A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. O. (Org.). Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais. Porto Alegre: Metropole, 2008b. p.545-559.

DEGRAZIA, C. F., **Evolução da camada limite planetária para a dispersão de poluentes pelo Método de GILTT,** 2005 (Dissertação de Mestrado em Engenharia) UFRG – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2005.

FERREIRA, D. B. **Relações entre a variabilidade da precipitação e a produtividade agrícola de soja e milho nas regiões sul e sudeste do Brasil.** São José dos Campos: INPE, 2005. 123p.; – (INPE-13599-TDI/1038).

FISCH G. **Camada Limite Amazônica:** Aspectos Observacionais e de Modelagem. Tese (Doutorado em Meteorologia). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, INPE/NTD, São José dos Campos, SP, 1996.

FÓRUM BRASILEIRO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS: guia de informação, 2002, Brasília. Tradução: Thiago Costa Serra. Anais... Brasília: Fórum Brasileiro de Mudanças Climáticas, 2002, 1. ed., 116p.

GATTI, L. **Construindo o Sistema de Observações de Mudanças Climáticas Medidas de Gases de Efeito Estufa,** palestra no I Workshop Brasflux.

GHINI, R. **Mudanças climáticas globais e doença de plantas.** Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 104p., 2005.

GOUDRIAAN, J.; VAN LAAR, H.H. **Modelling potential crop growth processes:** textbook with exercises. Amsterdam: Kluwer Academic Press, 1994. 238 p.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. **Climate Change 2007: The Physical Science Basis.** Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 2007.

JUNIOR R. S. S., **Estudo da concentração do CO<sub>2</sub> atmosférico em uma área de pastagem da região amazônica.** Revista Brasileira de Geofísica (2004) 22 (3): 259-270.

KEELING, C. and Whorf, T. (2005). **Atmospheric CO<sub>2</sub> records from site in the SIO air sampling network.** In **Trends: A Compendium of Data on Global Change. Carbon Dioxide Information Analysis Center**, Oak Ridge National Laboratory, US Dept. of Energy Oak Ridge, Tenn., USA.

KRUPA, S. V. **Global Climate Change: processes and products – an overview.** Environmental Monitoring and Assessment, 46: 73–88, 1997.

KUBINS, S. Measurement of radiant energy. In: SESTAK, Z.; CATSKY, J.; JARVIS, P.G. **Plant photosynthetic production, manual of methods** Hague: W. Junk, 1971. p.702-765.

LAL, R.; KIMBLE J. M.; FOLLETT, R. F.; COLE, C. V. **The potential of U.S. cropland to sequester carbon and mitigate the greenhouse effect.** Sleeping Bear Press, 1998. p. 1-128.

LEAL, L. S. M., **Variação diurna da concentração de CO<sub>2</sub> no dossel vegetativo da floresta amazônica em Caixuanã-PA** . Revista Brasileira de Meteorologia, v.21, n.3a, 122-128, 2006.

LIMA, M. A. de; CABRAL, O. M. R.; MIGUEZ, J. D. G. **Mudanças climáticas globais e a agropecuária brasileira.** Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente. 2001. 397p.

MARENGO, J. **Interdecadal variability and trends of rainfall across the Amazon basin.** Theoretical and Applied Climatology. 78, 79-96. 2004.

MARENGO J. A. **Interannual variability of surface climate in the Amazon basin,** Int. J. Climatol., 12, 853–863. 1992.

MARENGO, J. A.; Liebmann, B.; Kousky, V. E.; Filizola, N. P. and Wainer, I. C. **Onset and end of the rainy season in the Brazilian Amazon Basin,** J. Clim., 14, 833– 852. 2001.

MARENGO, J. A. et al. **Ensemble simulation of regional rainfall features in the CPTEC/COLA atmospheric GCM.** Climate Dynamics 21, 459–475. 2003.

MARENGO, J. A. et.al. **The Drought of Amazonia in 2005.** Journal of Climate, Submitted. 2007.

MOTA, F. S. **Weather-technology models for corn and soybeans in the South of Brazil.** *Agricultural Meteorology*, v 28, p. 49-64, 1983.

MORAES, O. L. et al. **Fluxos turbulentos: o diálogo entre a superfície e a atmosfera.** *Ciência & Ambiente*, n.34, p.115-135, 2007.

MORENO, J. A. **Clima do Rio Grande do Sul.** Porto Alegre, Secretaria da Agricultura, Secção de Geografia, 1961. 38p.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e Bioquímica do solo.** 2. ed. Lavras: Editora UFLA, 2006. 729 p.

NIMER, E. **Clima Região Sul.** In: *Geografia do Brasil*, v. 2. IBGE, Rio de Janeiro.

PANOFSKY, H. **Boundary-Layer Theory**, McGraw-Hill, New York, USA. 1968.

REICOSKY, D. C.; LINDSTROM, N. J. **Fall tillage method: effect on short-term carbon dioxide flux from soil.** *Agronomy Journal*, v. 85, p. 1237-1245, 1993.

SÁNCHEZ, M. L., PÉREZ, I. A.; GARCÍA, M. A., **Study of CO<sub>2</sub> variability at different temporal scales recorded in a rural Spanish site.** *Agricultural and Forest Meteorology* 150 (2010) 1168–1173.

SANTOS, E. O. dos. **Contribuição ao estudo do fluxo de dióxido de carbono dentro da floresta Amazônica.** Tese (Mestrado em Ciências em Engenharia Mecânica) – UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, 1999.

SCHLESINGER, W. H. **Carbon and Agriculture** – Carbon sequestration in soils. *Science*, 284: 2095, 1999.

SHAW, R. **Linking various aspects of atmospheric change through a systems analysis of food.** *Environmental Monitoring and Assessment*, v. 46, p. 113-133, 1997.

SILVA JÚNIOR RSS. **Concentrações e fluxos de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) sobre pastagens na região amazônica.** Dissertação (Mestrado em Meteorologia) Universidade Federal de Alagoas, Maceió/AL, 2003.

SILVA CMSE. **Comportamento da Camada Limite Atmosférica sobre pastagem em Rondônia durante a transição da estação seca para chuvosa em 2002.** Dissertação (Mestrado em Meteorologia) Universidade Federal de Alagoas, Maceió/AL, 2005.

SILVA, E. R.; SILVA, M. E. S.; TAKESHI, P. **Influência da temperatura da superfície do mar das regiões de Niño 1+2 e 3 na precipitação mensal na América do Sul.** In: XV Congresso Brasileiro de Meteorologia, São Paulo-SP, CD ROM XV CBMET, 2008.

SIQUEIRA NETO, M. **Estoque de carbono e nitrogênio do solo e emissões de gases do efeito estufa no sistema plantio direto em Tibagi (PR).** 2003. 83p. Dissertação (Mestrado em Ciências) Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

SIQUEIRA NETO, M. **Estoque de carbono e nitrogênio do solo com diferentes manejos no Cerrado goiano.** 159f. Tese (Doutorado – Programa de Pós-Graduação em Ciências. Área de Concentração: Energia Nuclear na Agricultura) Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.

STULL, R. B. **An Introduction to Boundary Layer Meteorology.** Kluwer Academic Publisher, Dordrecht, Holanda, 1988.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal.** 3. ed. Porto Alegre: Artemed, 2004. 719 p.

TANS P. P.; BAKWIN P. S. & GUENTHER D. W. **A feasible global carbon cycle observing system:** a plan to decipher today's carbon cycle based on observations. *Global change biology*, 2: 309–318, 1996.

VAREJÃO-SILVA, M. A. **Meteorologia e Climatologia.** Brasília: INMET, 2001

**SITES CONSULTADOS:**

**EMBRAPA** – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária: [www.embrapa.br/](http://www.embrapa.br/)

**IPCC** – Intergovernmental Pannel on Climate Change: [www.ipcc.ch](http://www.ipcc.ch)

**NOAA** – National Oceanic and Atmospheric Administration:  
[www.esrl.noaa.gov/gmd/](http://www.esrl.noaa.gov/gmd/) e [www.esrl.noaa.gov/gmd/obop/mlo/](http://www.esrl.noaa.gov/gmd/obop/mlo/)

**Estação Ciência da Universidade de São Paulo** - [www.eciencia.usp.br](http://www.eciencia.usp.br)

**Universidade Federal do Paraná** – Notas de Aula – Prof. Alice Marlene Grimm -  
<http://fisica.ufpr.br/grimm/aposmeteo/index.html>

**INPE** – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - <http://enos.cptec.inpe.br/>

**Diário Oficial da União** - <http://www.jusbrasil.com.br/diarios/33361211/dou-secao-1-21-12-2011-pg-6>