

UNESP  
Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá

Guaratinguetá  
2008

# **Livros Grátis**

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

FERRUFINO, Gretta Larisa Aurora Arce

TM  
2009

GRETTA LARISA AURORA ARCE FERRUFINO

UMA MODELAGEM DE SEQÜESTRO  
E ARMAZENAMENTO DE  
DIÓXIDO DE CARBONO  
ATMOSFÉRICO

Tese apresentada à Faculdade de Engenharia  
do Campus de Guaratinguetá, Universidade  
Estadual Paulista, para a obtenção do título  
de Mestre em Engenharia Mecânica na área  
de Transmissão e conversão de Energia.

Orientador: Prof. Dr. João Andrade de Carvalho Jr.  
Co-Orientador: Prof. Dr. Luiz Fernando Costa Nascimento

Guaratinguetá – São Paulo  
2008



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá

"MODELAGEM DE SEQÜESTRO E ARMAZENAMENTO DE DIÓXIDO DE  
CARBONO ATMOSFÉRICO"

GRETTA LARISA AURORA ARCE FERRUFINO

ESTA TESE FOI JULGADA ADEQUADA PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO  
DE

“MESTRE EM ENGENHARIA MECÂNICA”

PROGRAMA: ENGENHARIA MECÂNICA

ÁREA: TRANSMISSÃO E CONVERSÃO DE ENERGIA

APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELO PROGRAMA DE PÓS-  
GRADUAÇÃO

Prof. Dr. Marcelo dos Santos Pereira  
Coordenador

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. João Andrade de Carvalho Jr.  
Orientador/UNESP-FEG

Prof. Dr. Jose Antonio Perella Ballestieri  
UNESP-FEG

Prof. Dr. Maria Paulette Pereira Martins Jorge  
INPE

Dezembro de 2008

## DADOS CURRICULARES

GRETTA LARISA AURORA ARCE FERRUFINO

|            |  |
|------------|--|
| NASCIMENTO | 31.01.1982 – COCHABAMBA / BOLIVIA  |
| FILIAÇÃO   | Wilber Nerio Arce Macedo<br>Carmen del Rosario Miriam Ferrufino Aragón   |
| 2000/2004  | Curso de Graduação em Engenharia Química<br>Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión<br>Facultad de Ingeniería Química y Metalúrgia<br>Huacho – Perú |

*Dedico este trabalho, a meu pai Nerio, pelo carinho, amor, apoio que vem me dando nestes últimos anos e de modo especial a minha mãe Miriam, pelo amor incondicional e dedicação que ela sempre me deu durante toda a vida.*

## AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar a *Deus* e à *Virgem* por dar me a força para prosseguir ainda nos momentos de fraqueza.

Agradeço a meus pais por estarem sempre comigo, por me darem a coragem, a força e as asas para poder conseguir meus sonhos.

Aos meus orientadores, Prof. Dr. *João Andrade de Carvalho Jr.*, e Prof. Dr. *Luis Fernando Costa de Nascimento*, pela ajuda e indicação para percorrer o caminho, por seus conhecimentos outorgados e pelo incondicional apoio brindado, as quais foram de muita ajuda para a culminação do estudo.

De uma maneira muito especial, a *Carlos Manuel* por sempre contar com seu apoio e carinho. Assim como também, pelos conselhos dados como meu amigo, meu colega e como meu namorado no transcurso destes anos.

Tenho que agradecer de forma muito especial a *Edgar* por ser uma grande pessoa e amigo, porque ele é uma das pessoas que me ajudaram a cumprir com este objetivo e por ser meu exemplo de humildade e grandeza.

As minhas amigas: *Dione*, por sua alegria e *Juliana*, por sua companhia na república, por ser uma irmã, por ser minha confidente, pelos momentos de alegria e por seus conselhos. Em especial agradeço a *Dona Nair* (em memória) por seus conselhos como mãe e a acolhida na sua casa no primeiro mês que cheguei ao Brasil, por me fazer parte dela.

Às senhoritas da biblioteca e às secretárias da pós-graduação, pela dedicação e alegria no atendimento.

Em geral, a todos os companheiros e professores do Departamento de Energia que direta ou indiretamente colaboraram para a execução deste trabalho.



Este trabalho contou com apoio da Coordenação de aperfeiçoamento de pessoal de Nível Superior – CAPES, através da Bolsa de Estudos Institucional.

Caminante, son tus huellas  
el camino y nada más;  
caminante, no hay camino,  
se hace camino al andar..  
Caminante, no hay Camino,  
Sino estrellas en el mar.

Antonio Machado 1875-1939

**FERRUFINO, G. L. A. A.** Uma modelagem de seqüestro e armazenamento de dióxido de carbono atmosférico. Guaratinguetá, 2008. 171 f. Tese (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista.

### **RESUMO**

O dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) é um importante gás de efeito estufa. No entanto, um aumento gradual ameaça substancialmente o clima. Um dos principais desafios do planejamento ambiental é identificar um modelo que vincule todos os fatores do ciclo de carbono, ou seja, oceano – ecossistema terrestre – emissão antropogênica – atmosfera. Princípios básicos de Termodinâmica podem ser aplicados em uma modelagem estatística com bases em séries históricas para obter concentrações de CO<sub>2</sub> na atmosfera, possibilitando a construção de cenários para uma melhor tomada de decisões. Por este motivo, foi desenvolvido no trabalho um modelo que interliga todos os fatores do ciclo de carbono, focalizando em quatro zonas térmicas ou climáticas (Boreal, Temperada, Tropical, Polar), para cálculos de armazenamento de CO<sub>2</sub> atmosférico. Os resultados mostram que no ano 2100 se atingirá uma concentração de CO<sub>2</sub> quatro vezes maior do que antes do período pré-industrial. A zona temperada emite quase a metade de dióxido de carbono à atmosfera na atualidade; para o ano 2100, essa emissão aumentará a quinze vezes mais que a zona tropical. A China será responsável em uma proporção de vinte quatro a onze com relação aos Estados Unidos. A estabilização das concentrações de CO<sub>2</sub> na atmosfera será obtida quando as emissões de dióxido de carbono antropogênico tiverem uma diminuição de mais do que trinta e quatro por cento para o ano 2100 na zona temperada.

**PALAVRAS-CHAVE:** Dióxido de carbono, Ciclo de Carbono, Modelo para Dióxido de Carbono.

**FERRUFINO, G. L. A. A.** A sequestration and storage model of atmospheric carbon dioxide. Guaratinguetá, 2008. 171 p. Thesis (Master in Mechanical Engineering) – Guaratinguetá’s Faculty of Engineering, University São Paulo State.

### **ABSTRACT**

Carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) is the most important greenhouse gas. A gradual increase on its atmospheric concentration threatens significantly the climate. One of the main challenges of environment planning is to identify a model that connects all factors that determine the carbon cycle, that is, ocean – terrestrial ecosystem – anthropogenic emissions – atmosphere. Basic thermodynamic principles can be applied in a statistical modeling with historic time series to obtain atmospheric CO<sub>2</sub> concentration, creating the possibility of construction of scenarios that will help decision making. A model that links all carbon cycle factors was developed in this dissertation work, focusing in four thermal of climatic zones (Boreal, Temperate, Tropical, and Polar) for calculations of atmospheric CO<sub>2</sub> storage.

Results show that in 2100, the atmospheric CO<sub>2</sub> concentration will reach a value four times higher than that of the pre-industrial period. The temperate zone already emits almost half of the carbon dioxide to the atmosphere; by 2100, this emission will increase 15 times more than that corresponding to the tropical zone. China will be responsible for emissions in a proportion of 24 to 11 in comparison to that of the United States. Stabilization of CO<sub>2</sub> concentrations in the atmosphere will be obtained when the anthropogenic carbon dioxide emissions attain a decrease of at least 34% in 2100 in the temperate zone.

**KEYWORDS:** Carbon dioxide, carbon cycle, carbon dioxide model.

## LISTA DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| FIGURA 1.1 – 100 anos de Emissões de dióxido de carbono.....   | 3  |
| FIGURA 1.2 – Variações das concentrações de dióxido de carbono .....                                   | 6  |
| FIGURA 2.1 – Reservatórios do ciclo natural do carbono.....  | 10 |
| FIGURA 2.2 – Ciclo do Carbono e suas interações entre reservatórios de CO <sub>2</sub> .....           | 11 |
| FIGURA 2.3 – Floresta Boreal “Coníferas Pinus Strobus” .....   | 14 |
| FIGURA 2.4 – Floresta Temperada “Decíduos Oak-Hickory” .....   | 15 |
| FIGURA 2.5 – Floresta Tropical “Floresta úmida perto de Manaus Brasil” .....                           | 17 |
| FIGURA 2.6 – Índice Biológico vegetativo global (IBVG) para os meses<br>Julho- Agosto (2004).....      | 18 |
| FIGURA 2.7 – Índice Biológico vegetativo global (IBVG) para os meses Janeiro-<br>Fevereiro (2004)..... | 18 |
| FIGURA 2.8 – A grande correia de transporte oceânica .....   | 20 |
| FIGURA 2.9 – Fenômenos da circulação oceânica, Upwelling Costeiro.....                                 | 21 |
| FIGURA 2.10 – Fenômenos da circulação oceânica, Upwelling equatorial.....                              | 23 |
| FIGURA 2.11 – Fenômenos da circulação oceânica, Upwelling do Oceano Sul ....                           | 23 |
| FIGURA 2.12 – Esquema do processo “Bomba Biológica” .....  | 26 |
| FIGURA 2.13 – Formação da camada de mistura num regime turbulento .....                                | 28 |
| FIGURA 2.14 – Circulação Atmosferica.....  | 29 |
| FIGURA 2.15 – Identificação dos sistemas para o balanço de massa .....                                 | 31 |
| FIGURA 2.16 – Processo de intercâmbio de CO <sub>2</sub> do ecossistema terrestre –<br>atmosfera.....  | 34 |
| FIGURA 2.17 – Distribuição de p(CO <sub>2</sub> ) de águas superficiais para fevereiro<br>de 1995..... | 40 |

|   |    |
|---|----|
| FIGURA 2.18 – Distribuição de $p(\text{CO}_2)$ de águas superficiais para agosto de 1995 (uatm).....                | 40 |
| FIGURA 2.19 – Fonte de energia primaria mundial em Gtn. óleo equivalente.....                                       | 43 |
| FIGURA 2.20 – Fontes de energia primaria mundial.....   | 43 |
| FIGURA 2.21 – 10 Países com maiores emissões de dióxido de carbono no ano 2005 em TgC.....                          | 44 |
| FIGURA 2.22 – Emissões por pessoa para os 10 maiores países consumidores de energia no mundo em TgC .....           | 45 |
| FIGURA 2.23 – Incremento das emissões de $\text{CO}_2$ globais.....   | 46 |
| FIGURA 3.1 – Mapa mundial com a zona Tropical “linha vermelha” .....  | 51 |
| FIGURA 3.2 – Mapa mundial com a zona Temperada “linha vermelha”.....  | 53 |
| FIGURA 3.3 – Mapa indicando as regiões polares do mundo.....  | 55 |
| FIGURA 3.4 – Concentrações de $\text{CO}_2$ atmosféricos em Barrow Alasca .....                                     | 64 |
| FIGURA 3.5 – Concentrações de $\text{CO}_2$ atmosféricos em Mauna Loa.....  | 65 |
| FIGURA 3.6 – Concentrações de $\text{CO}_2$ atmosférico em Samoa Americana .....                                    | 65 |
| FIGURA 3.7 – Concentrações de $\text{CO}_2$ atmosférico em Pólo Sul.....  | 66 |
| FIGURA 4.1 – Esquema do processo de tradução.....   | 67 |
| FIGURA 4.2 – Comparação de dados reais (marrão) com o modelo teórico (vermelho) para a estação BARROW ALASKA .....  | 78 |
| FIGURA 4.3 – Comparação de dados reais (roxo) com o modelo teórico (vermelho) para a estação MAUNA LOA.....         | 79 |
| FIGURA 4.4 – Comparação de dados reais (verde) com o modelo teórico (vermelho) para a estação SAMOA AMERICANA ..... | 79 |
| FIGURA 4.5 – Comparação de dados reais (azul) com o modelo teórico (vermelho) para a estação PÓLO SUL.....          | 80 |
| FIGURA 5.1 – Primeiro Cenário, resposta do modelo à tendência atual de emissões de dióxido de carbono .....         | 95 |
| FIGURA 5.2 – Comportamento das emissões antropogênicas para o primeiro cenário .....                                | 96 |

|   |     |
|---|-----|
| FIGURA 5.3 – Fluxo do ecossistema terrestre – Atmosfera global e por zonas.....                 | 97  |
| FIGURA 5.4 – Concentrações de dióxido de carbono atmosférico<br>(Cenário Segundo).....          | 99  |
| FIGURA 5.5 – Cenário de emissões de dióxido de carbono antropogênicas<br>(Cenário Segundo)..... | 99  |
| FIGURA 5.6 – Concentrações de dióxido de carbono atmosférico<br>(Cenário terceiro).....         | 101 |
| FIGURA 5.7 – Emissões de dióxido de carbono antropogênico<br>(Cenário terceiro).....            | 101 |
| FIGURA 5.8 – Concentrações de dióxido de carbono atmosférico<br>(Cenário quarto).....           | 103 |
| FIGURA 5.9 – Emissões de dióxido de carbono antropogênico<br>(Cenário quarto).....              | 103 |
| FIGURA 5.10 – Concentrações de dióxido de carbono atmosférico<br>(Quinto cenário).....          | 105 |
| FIGURA 5.11 – Emissões de dióxido de carbono antropogênico<br>(Quinto cenário).....             | 105 |

## LISTA DE TABELAS

|   |    |
|---|----|
| TABELA 1.1 – Uma aproximação das cargas de carbono globais para as duas décadas passadas .....  | 4  |
| TABELA 2.1 – Composição oceânica em proporção molar de sódio.....   | 19 |
| TABELA 2.2 – Química do carbono nos oceanos.....  | 24 |
| TABELA 2.3 – Composição média do ar seco no nível do mar .....  | 27 |
| TABELA 3.1 – Emissões de CO <sub>2</sub> da queima de combustíveis fósseis as zonas climáticas .....  | 57 |
| TABELA 3.2 – Emissões de CO <sub>2</sub> oriundas da mudança de uso de solos.....   | 58 |
| TABELA 3.3 – Estimativa de carbono nos três sítios florestais .....   | 59 |
| TABELA 3.4 – Superfície e variação da cobertura florestal. ....   | 60 |
| TABELA 3.5 – Fluxo de dióxido de carbono entre o ecossistema terrestre e atmosfera.....   | 61 |
| TABELA 3.6 – Fluxo de dióxido de carbono oceano-atmosfera.....  | 63 |
| TABELA 3.7 – Estações de monitoramento .....  | 64 |
| TABELA 4.1 – Constantes da equação de Sazonalidade para cada estação.....   | 77 |
| TABELA 4.2 – Constantes das equações das tendências para cada estação.....  | 78 |
| TABELA 4.3 – Dados das constantes para as equações 4.18- 4.20 para cada uma das zonas térmicas.....   | 83 |
| TABELA 4.4 – Constantes das equações da variabilidade sazonal e da tendência para a modelagem de emissões de dióxido de carbono antropogênico para cada zona térmica..... | 85 |
| TABELA 4.5 – Constantes das equações da tendência para a modelagem de emissões de dióxido de carbono antropogênico para cada zona térmica.....                            | 86 |

---



|   |    |
|---|----|
| TABELA 5.1 – Dados Teóricos e dados reais dos Fluxos de dióxido de carbono entre o ecossistema terrestre e a atmosfera para cada zona térmica ..... | 87 |
| TABELA 5.2 – Dados teóricos de fluxo de dióxido de carbono para todos os anos desde 1995 ate 2005 em TgC.....                                       | 88 |
| TABELA 5.3 – Tabela de dados gerados para o fluxo Oceano _ Atmosfera reais (Negrito) e dados interpolados (normal) dados em TgC.....                | 89 |
| TABELA 5.4 – Dados de emissões Antropogênicas de Dióxido de carbono feitos com os modelos para cada uma das zonas térmicas.....                     | 91 |
| TABELA 5.5 – Incremento de dióxido de carbono feito mediante o balanço de massa para cada zona climática.....                                       | 92 |
| TABELA 5.6 – Concentrações de dióxido de carbono teóricos e reais (ppm). .....  | 94 |

---

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

|                     |  |
|---------------------|--|
| ACUM <sub>atm</sub> | - Armazenamento atmosférico                              |
| BRW                 | - Barrow –Alaska   |
| CDIAC               | - Carbon Dioxide Information Analysis Center             |
| DIC                 | - Dissolved Inorganic Carbon                             |
| DOC                 | - Dissolved Organic Carbon                               |
| EIA                 | - Energy International Agency                            |
| EIA*                | - Energy Information and Administration                  |
| FAO                 | - Food and Agriculture Organization                      |
| GPP                 | - Gross Primary Productivity                             |
| ha                  | - Hectare  |
| IBVG                | - Índice Biológico Vegetativo Global                     |
| IPCC                | - Intergovernmental Painel Climate Change                |
| LABFIT              | - Curve Fitting Software                                 |
| MNO                 | - Mauna Loa  |
| NEE                 | - Net Ecosystem Exchange                                 |
| NEP                 | - Net Ecosystem Productivity                             |
| NPP                 | - Net Primary Productivity                               |
| pH                  | - Potencial de Hidrogênio                                |
| ppmv                | - Partes por milhão em unidade de volume                 |
| PS                  | - Pólo sul   |
| R <sub>SA</sub>     | - Autotrophic Respiration                                |
| R <sub>SH</sub>     | - Heterotrophic Respiration                              |
| R <sub>SE</sub>     | - Total Respiration                                      |
| SIO                 | - Scripp Institution Oceanography                        |
| SMO                 | - Samoa Americana  |
| SOM                 | - Soil Organic Matter                                    |
| SST                 | - Structure Surface Temperature                          |
| TgC                 | - Terá gramas de carbono equivalentes ao CO <sub>2</sub> |
| TPES                | - Total Primary Energy Supply                            |
| µatm                | - Micro atmosferas                                       |
| UNFCC               | - United Nations Framework Convention of Climate Change  |

## LISTA DE SÍMBOLOS

|  |  |                                 |
|--|--|---------------------------------|
| A  | Solubilidade do CO <sub>2</sub>                  | $mol. \square \square atm^{-1}$ |
| aq   | Estado líquido da matéria                        | $mol$                           |
| A <sub>florestada</sub>                            | Área Florestada                                  | $ha$                            |
| A, B,.....,L                                       | Constantes                                       | $TgC.ano^{-1}$                  |
| B <sub>0</sub> ,B <sub>1</sub> ,...,B <sub>n</sub> | Constantes                                       |                                 |
| (CO <sub>2conc</sub> )                             | Concentração de CO <sub>2</sub>                  | $mol.cm^{-1}$                   |
| [CO <sub>2</sub> ] <sub>i</sub>                    | Concentração de CO <sub>2</sub> num tempo i      | $ppmv$                          |
| erro   | Erro entre dado real e dado suavizado            | $TgC$                           |
| f <sub>CO2</sub>                                   | Fluxo anual de CO <sub>2</sub>                   | $TgC.ano^{-1}$                  |
| f <sub>i</sub> (t)                                 | Fluxo em função do tempo                         | $TgC$                           |
| f(t)   | Equação do modelo                                | $TgC$                           |
| G  | Estado gasoso da matéria                         | $mol$                           |
| K  | Constante de equilíbrio                          | $mol.s^{-1}$                    |
| K*   | Coefficiente de transferência do CO <sub>2</sub> | $cm.h^{-1}$                     |
| m <sub>CO2</sub>                                   | Massa anual de CO <sub>2</sub>                   | $TgC$                           |
| NEE  | Intercâmbio do ecossistema líquido               | $TgC.ano^{-1}ha^{-1}$           |
| N  | Número de observações                            |                                 |
| p  | Pressão barométrica                              | $\mu atm.mol^{-1}$              |
| p(CO <sub>2</sub> )                                | Pressão parcial                                  | $\mu atm.cm^{-1}$               |
| Δp(CO <sub>2</sub> )                               | Diferença das pressões parciais                  | $\mu atm.cm^{-1}$               |
| Sc   | Fator do vento correlacionado                    | $cm.s^{-1}$                     |
| S(t)   | Função Sazonal                                   | $TgC$                           |
| T  | Temperatura                                      | $^{\circ}C$                     |
| T(t)   | Função da tendência                              | $TgC$                           |
| t <sub>i</sub>                                     | Tempo  | $ano$                           |
| v  | Velocidade do vento                              | $cm.h^{-1}$                     |
| w  | Frequência Angular                               | $rad$                           |
| Z  | Dados reais no tempo i                           | $(TgC.ano^{-1})$                |
| Z*   | Dados reais no tempo i suavizados                | $(TgC.ano^{-1})$                |

## SUMÁRIO

|  |    |
|--|----|
| 1 INTRODUÇÃO.....  | 1  |
| 1.1 ESTADO DA ARTE.....  | 1  |
| 1.2 MOTIVAÇÃO.....   | 6  |
| 1.3 PROPOSTA E A FINALIDADE DO TRABALHO.....                                       | 7  |
| 1.4 OBJETIVO DO TRABALHO.....  | 8  |
| 1.5 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....   | 8  |
| 1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO.....   | 8  |
| 2 CICLO DO CARBONO.....  | 10 |
| 2.1 INTRODUÇÃO.....  | 10 |
| 2.2 CICLO NATURAL DO CARBONO.....  | 11 |
| 2.2.1 <b>Ecosistema terrestre</b> .....  | 12 |
| 2.2.1.1. Tipos de floresta do mundo.....   | 13 |
| 2.2.1.2 Índice Biológico Vegetativo Global.....                                    | 17 |
| 2.2.2 <b>Oceanos</b> .....   | 19 |
| 2.2.2.1 Reatividade do dióxido de carbono.....                                     | 23 |
| 2.2.2.2 Química biológica do carbono nos oceanos.....                              | 25 |
| 2.2.3 <b>Atmosfera</b> .....   | 26 |
| 2.3 FLUXOS DE DIÓXIDO DE CARBONO ENTRE OS<br>RESERVATÓRIOS.....                    | 30 |
| 2.3.1 <b>Fluxo de CO<sub>2</sub> entre ecossistema terrestre e atmosfera</b> ..... | 33 |
| 2.3.1.1 Sistema dinâmico de intercâmbio de dióxido de carbono.....                 | 34 |
| 2.3.1.2 Modelagem do processo de respiração das plantas e solos.....               | 35 |

|         |  |           |
|---------|--|-----------|
| 2.3.2   | Fluxo de CO <sub>2</sub> entre o oceano e atmosfera.....   | 37        |
| 2.3.2.1 | Distribuição de p(CO <sub>2</sub> ) das águas superficiais.....  | 39        |
| 2.3.2.2 | Modelagem do fluxo de CO <sub>2</sub> oceano e atmosfera.....  | 41        |
| 2.4     | EMISSÕES DE CO <sub>2</sub> PELA INFLUÊNCIA ANTROPOGÊNICA.....   | 42        |
| 2.4.1   | <b>Emissões de dióxido de carbono referentes à queima de combustíveis fósseis e a consequência na energia mundial.....</b> | <b>42</b> |
| 2.4.2.  | <b>Emissões de dióxido de carbono referente à mudança de uso de solos.....</b>   | <b>47</b> |
| 2.5     | IMPACTO NO CICLO DE CARBONO DEVIDO ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS.....   | 48        |
| 3       | <b>ÁREA DE ESTUDO E CONSTRUÇÃO DE BANCO DE DADOS.....</b>  | <b>50</b> |
| 3.1     | LOCALIZAÇÃO E DELIMITAÇÃO DO ESPAÇO E TEMPO.....   | 50        |
| 3.1.1   | <b>Zonas Tropicais.....</b>  | <b>50</b> |
| 3.1.1.1 | Clima das zonas tropicais.....   | 51        |
| 3.1.2   | <b>Zonas Temperadas.....</b>   | <b>52</b> |
| 3.1.2.1 | Clima nas zonas temperadas.....  | 53        |
| 3.1.3   | <b>Zonas Polares.....</b>  | <b>54</b> |
| 3.1.3.1 | Clima polar.....   | 55        |
| 3.2     | OBTENÇÃO DO BANCO DE DADOS.....  | 56        |
| 3.2.1   | <b>Fluxos de Dióxido de Carbono entre os reservatórios.....</b>  | <b>56</b> |
| 3.2.2   | <b>Emissões de CO<sub>2</sub>.....</b>   | <b>56</b> |
| 3.2.3   | <b>Fluxos entre o ecossistema terrestre e atmosfera.....</b>   | <b>59</b> |
| 3.2.3.1 | Extensão de floresta terrestre.....  | 59        |
| 3.2.3.2 | Dinâmicas de CO <sub>2</sub> .....   | 60        |

|          |   |    |
|----------|---|----|
| 3.2.4    | <b>Fluxo entre o oceano e a atmosfera</b>   | 61 |
| 3.2.4    | <b>Dados de dióxido de carbono atmosférico</b>  | 63 |
| <b>4</b> | <b>MODELAGEM DO SEQUESTRO E ARMAZENAMENTO DE DIÓXIDO DE CARBONO ATMOSFÉRICO</b>               | 67 |
| 4.1      | INTRODUÇÃO  | 67 |
| 4.2      | FUNDAMENTO TEÓRICO  | 68 |
| 4.2.1    | <b>Análise de series temporais</b>  | 69 |
| 4.2.1.1  | Tendência e Suavização  | 70 |
| 4.2.1.2  | Análise de Fourier  | 73 |
| 4.3      | METODOLOGIA   | 74 |
| 4.3.1    | <b>Modelagem dos dados de dióxido de carbono atmosféricos</b>                                 | 75 |
| 4.3.2    | <b>Geração de dados de fluxos entre reservatórios</b>   | 80 |
| 4.3.2.1  | Modelagem de dados para Fluxo do Ecossistema Terrestre _ Atmosfera                            | 81 |
| 4.3.2.2  | Modelagem de dados para o Fluxo do Oceano e Atmosfera   | 83 |
| 4.3.2.3  | Modelagem dos dados de emissões de dióxido de carbono Antropogênico                           | 83 |
| <b>5</b> | <b>RESULTADOS DA MODELAGEM DE SEQUESTRO E ARMAZENAMENTO DE DIÓXIDO DE CARBONO ATMOSFERICO</b> | 87 |
| 5.1      | RESULTADOS  | 87 |
| 5.1.1    | <b>Fluxo de ecossistema terrestre e a atmosfera</b>   | 87 |
| 5.1.2    | <b>Fluxo do oceano e a atmosfera</b>  | 89 |
| 5.1.3    | <b>Emissões de CO<sub>2</sub> antropogênico</b>   | 90 |

|         |   |            |
|---------|---|------------|
| 5.1.4   | <b>Armazenagem do CO<sub>2</sub> na atmosfera.....</b>  | <b>92</b>  |
| 5.2     | <b>MODELO DE RESPOSTAS ACOPLADAS QUE IMPLICAM<br/>CONCENTRAÇÕES DE CO<sub>2</sub> ATMOSFÉRICO<br/>FUTURAS.....</b>                        | <b>94</b>  |
| 5.2.1   | <b>Previsões das concentrações de dióxido de carbono atmosférico<br/>(cenário primeiro).....</b>  | <b>95</b>  |
| 5.2.2   | <b>Construção de cenários para concentrações de dióxido<br/>De carbono atmosférico.....</b>   | <b>97</b>  |
| 5.2.2.1 | Avaliação da meta do Protocolo de Quioto (Cenário Segundo).....   | 97         |
| 5.2.2.2 | Países Emergentes e influência da suas emissões no ciclo de carbono<br>(Cenário terceiro).....  | 100        |
| 5.2.2.3 | Estados Unidos de Norte América e sua influencia no ciclo de<br>carbono (Cenário Quarto).....   | 102        |
| 5.2.2.4 | Sistemas de Captura de Carbono (processos CCS) e sua influencia<br>nas Concentrações de CO <sub>2</sub> atmosférico (cenário Quinto)..... | 104        |
| 6       | <b>CONCLUSÕES.....</b>  | <b>106</b> |
|         | <b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA.....</b>   | <b>109</b> |
|         | <b>ANEXO A.....</b>   | <b>118</b> |
|         | <b>ANEXO B.....</b>   | <b>120</b> |
|         | <b>ANEXO C.....</b>   | <b>126</b> |
|         | <b>ANEXO D.....</b>   | <b>132</b> |
|         | <b>ANEXO E.....</b>   | <b>138</b> |
|         | <b>ANEXO F.....</b>   | <b>144</b> |

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 ESTADO DA ARTE

Visando o aumento dos padrões de vida e a demanda de alimentos pelo crescimento da população no mundo inteiro, muitas regiões tiveram a necessidade de incrementar o consumo de energia como também ampliar as áreas de cultivo; não obstante, incrementou-se proporcionalmente a emissão de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) na atmosfera.

O aumento das concentrações de dióxido de carbono atmosférico e outros gases de efeito estufa são ao redor de 31 % desde a revolução industrial. As concentrações de CO<sub>2</sub> aumentaram de 280 ppm (ano 1750) para 387 ppm (ano 2005), com a tendência a continuar aumentado com uma taxa de 2,0 ppm ao ano (3300 TgC/ano) (LAL, 2004; CDIAC, 2006; EIA, 2007).

Nas últimas décadas, o crescimento econômico e populacional dos países em desenvolvimento tem causado aumentos vigorosos do consumo de energia mundial. O crescimento, aliado à demanda crescente de petróleo e gás, poderá causar pressões nos sistemas energéticos e nas condições ambientais globais no decorrer do século 21.

Segundo projeções das Nações Unidas, até o ano 2030 as regiões em desenvolvimento poderiam chegar a 81 % da população mundial. A rápida expansão econômica projetada para os mercados emergentes, em conjunto com o rápido crescimento populacional, resultará num aumento da demanda de energia nos países em desenvolvimento.

A *Energy related Carbon dioxide Emissions* (2002) da Agência Internacional de Energia (EIA) comentou que até o ano 2030 a demanda global de energia primária estará quase 2/3 acima dos níveis de 2000, chegando a 15,3 bilhões anuais de toneladas equivalentes de petróleo, e os países em desenvolvimento responderão por 62% desses aumentos (JAFFE e BAKER, 2006).

As emissões de dióxido de carbono provêm em sua maior parte dos setores de energia, transporte e industrial (processos de combustão). Para o ano 2004, 26% das



emissões de dióxido de carbono foram derivadas do setor energético, 19% do setor industrial, 17% para mudanças de uso do solo, 14% do setor agrícola, 13% setor transporte, 8% setor residencial-comercial e 3% do lixo (BERT METZ, 2007).

Oliver (2006) reporta emissões globais de dióxido de carbono, as quais apresentam uma evolução temporal desde 1970, aumentando repentinamente no ano 2004 ao redor de 80% das emissões de CO<sub>2</sub>, sendo que 77% correspondem às emissões antropogênicas (ver figura 1.1).

O crescimento da população a nível global teve um significativo efeito no crescimento de energia relacionado a emissões de CO<sub>2</sub> na demanda de combustíveis fósseis. Jaffe e Baker (2006) analisaram as projeções dadas pela Agência Internacional de Energia (EIA), assumindo que o setor energético tem aumentado significativamente desde a revolução industrial, e os cenários corroboram que esse incremento seguirá pelos próximos 30 anos. Em outro trabalho de pesquisa, Oliver (2006) determinou como o incremento de energia aumenta as taxas de dióxido de carbono.

Aumentos das emissões de combustíveis fósseis foram drásticos durante o século 20, sendo que as cargas de carbono para as últimas duas décadas identificaram mudanças entre as diferentes fontes e sorvedouros. Como se pode observar na Tabela 1.1, para os anos 1980 as emissões de carbono equivalente (dióxido de carbono) para combustíveis fósseis foram de 5400 +/- 300 TgC e para as mudanças de uso de solos foram de 1700 +/- 800 TgC (esta última consiste em desflorestamento, queimadas de biomassas e mudanças de ecossistemas naturais para terrenos agrícolas). Já para os anos 1990, as emissões foram de 6300 +/- 400 TgC para combustíveis fósseis e indústrias de cimento e 1600 +/- 800 TgC para as mudanças de uso de solos. (LAL, 2004; SCHIMEL et. al, 2001; IPCC, 2001).

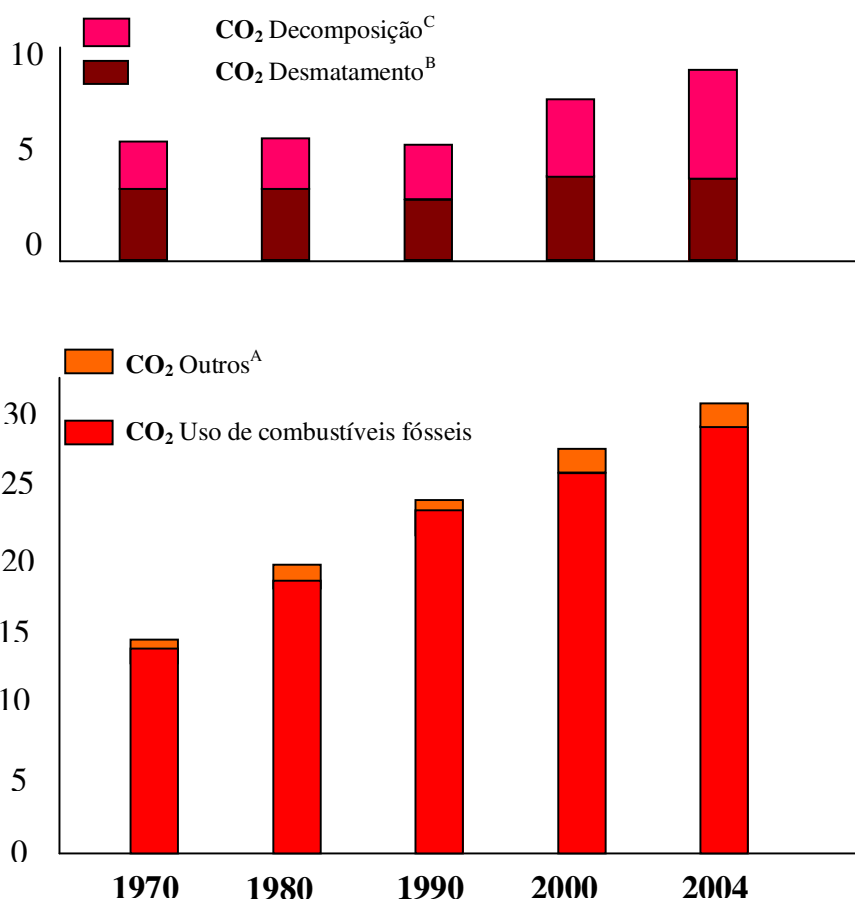


Figura 1.1 - 100 anos de Emissões de dióxido de carbono em Gtn anuais desde os anos 1970 até o ano 2004. (OLIVER et al, 2006; HOOPER et al, 2006; MERTZ , 2007)

<sup>A</sup> Refere-se à produção de cimento e queima de gás natural,

<sup>B, C</sup> Refere-se ao setor agrícola, à decomposição da biomassa que permanece depois do desmatamento e o CO<sub>2</sub> da putrefação dos solos, assumindo que 10% do carvão permanecem nos solos depois da combustão.

O dióxido de carbono é um dos principais constituintes do ciclo do carbono; esse gás realiza ciclos com diferentes reservatórios, sendo capturado e sequestrado em cada um deles de acordo com a sua capacidade. Durante as décadas passadas, em média, a metade das emissões antropogênicas tem permanecido na atmosfera e o restante foi absorvido pelos reservatórios (oceanos e ecossistemas terrestres).

Tabela 1.1 - Uma aproximação das cargas de carbono globais para as duas décadas passadas (TgC)

| <b>Reservatórios (Fontes / sorvedouros)</b>                 | <b>80's</b> | <b>90's</b> |
|---|-------------|-------------|
| <b>Fonte</b>  |             |             |
| 1. Combustão de combustíveis fósseis e produção de cimento. | 5400        | 6300        |
| 2. Mudanças de uso de solos.                                | 1700        | 1600        |
| <b>Total</b>  | <b>7100</b> | <b>7900</b> |
| <b>Sorvedouros</b>  |             |             |
| 1. Oceanos  | 2000        | 2300        |
| 2. Ecossistema terrestre                                    | 1900        | 1700        |
| 3. Atmosfera  | 3300        | 3000        |
| <b>Total</b>  | <b>7200</b> | <b>7000</b> |

Fonte: LAL, 2004.

Variações anuais na velocidade de acumulação de CO<sub>2</sub> atmosférico nos outros reservatórios estão diminuindo ou aumentando a sua captura como resultado das variações dos fluxos do ciclo de carbono. Pesquisas dos fluxos entre reservatórios como oceanos e ecossistemas terrestres, em relação com suas regiões, têm produzido respostas conflitantes (BOUSQUET et. al., 2000).

Segundo Lal (2004), de um modo geral o incremento anual nas concentrações de dióxido de carbono para os anos 1980 foi de 3300 +/- 200 TgC, sendo que 2000 +/- 800 TgC foram seqüestrados pelos oceanos e 1900 +/- 1300 TgC foram absorvidos pelo ecossistema terrestre. Já para os anos 1990, o incremento na atmosfera foi de 3200 +/- 100 TgC, a absorção pelos oceanos ao redor de 2300 +/- 800 TgC e pelos ecossistema terrestre 2300 +/- 1300 TgC.

A influência humana entre fluxos dos três principais reservatórios representa uma pequena perturbação significativa ao ciclo de carbono. Esses fatores que influenciam sobre as mesmas concentrações de CO<sub>2</sub> como a natureza da variabilidade climática, mudanças nas correntes marinhas, efeitos de fertilidade, ações humanas diretas como as

conversões de terras, supressão de fogos, dentre outros, são características próprias de cada região.

Para estabelecer as conseqüências das atividades humanas no ciclo global de carbono, observações diretas são necessárias tanto quanto modelos de previsões. A habilidade de prever corretamente uma gradiente de variação nas concentrações de CO<sub>2</sub> atmosféricos com o tempo é requisito indispensável para modelos de confiança que vinculem a quantidade de carbono nos reservatórios e o poder de transferência entre eles (KEELING et al., 2001).

Essas perspectivas têm direcionado pesquisadores durante anos. A IPCC *WIC Second Report* (IPCC, 1996) indica que, para fazer medições e observações nas maiores áreas do planeta, dados de observações devem ser obtidos (atmosféricas, oceânicas e terrestres) para melhorar a quantificação de fluxos de carbono em escalas regionais e globais. Por exemplo, deve-se melhorar a precisão de medições de CO<sub>2</sub> atmosférico e desenvolver melhores métodos de medições de variações de concentrações de CO<sub>2</sub>; melhorar as medições de fluxos em torres, observações via satélite de cobertura terrestre global e suas mudanças; incrementar monitoramentos geográficos, estacionais e variações interanuais de parâmetros biogeoquímicos.

Desde 1 de junho de 2006, 189 nações, incluindo os Estados Unidos, adotaram a Convenção das Nações Unidas para a estrutura das mudanças climáticas (UNFCCC, United Nations Framework Convention of Climate Change), o que teve como objetivo “estabilizar as concentrações dos gases de efeito estufa na atmosfera em um nível que poderia estabilizar ou prevenir os danos antropogênicos para a mudança climática”.

O estudo do ciclo do carbono é importante para esse objetivo, pois ele determina quanto do CO<sub>2</sub> antropogênico traslada-se à atmosfera e quanto desse CO<sub>2</sub> é seqüestrado pelos oceanos e pelos ecossistemas terrestres. Em particular, o balanço dessas cargas de carbono è nas palavras de Houghton (2007):

“A conservação de carbono e a primeira lei da Termodinâmica estão agindo. O balanço de carbono refere-se ao estado das ciências em avaliações de termos de equações

de carbono global. O incremento anual na quantidade de carbono na atmosfera, oceanos e ecossistemas terrestres poderia avaliar as emissões antropogênicas. Balancear as cargas de carbono não é um resultado real. O resultado real é ter um entendimento do processo responsável por fontes e sorvedouros totais de carbono. Esse entendimento poderia trazer previsões mais precisas de concentrações futuras de CO<sub>2</sub> atmosférico”.

## 1.2 MOTIVAÇÃO

Dentro dos gases efeito estufa, o mais importante é o dióxido de carbono, já que além de ter uma concentração que está aumentando na atmosfera com uma alta taxa nos últimos 200 anos, é um dos gases com maior força radiativa conforme se pode observar na Figura 1.2.

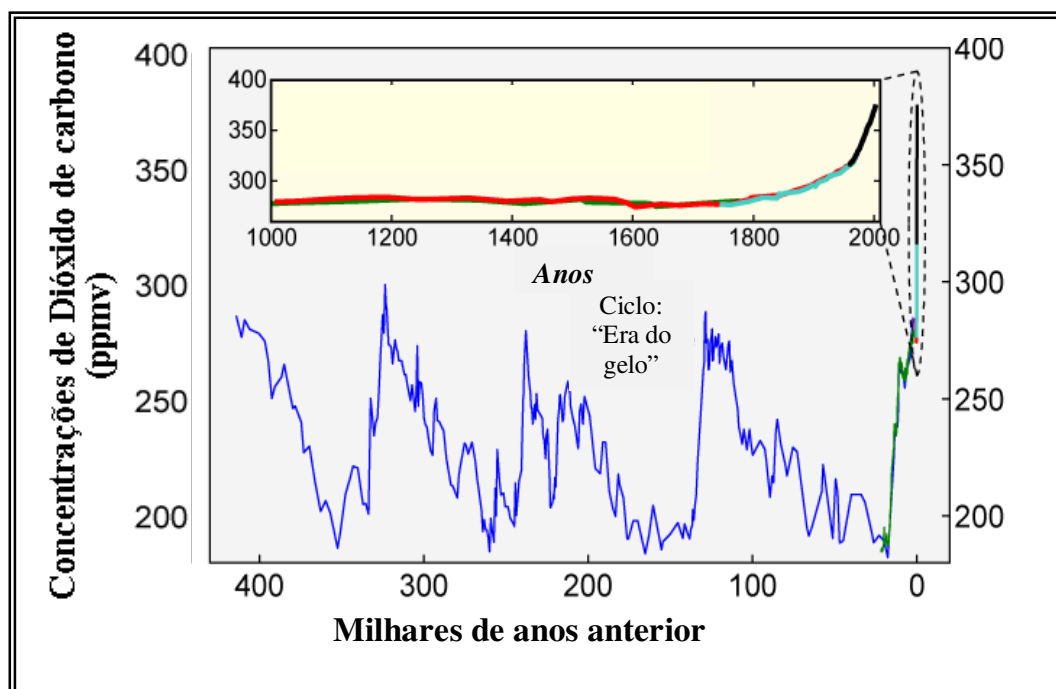


Figura 1.2 – Variações das concentrações de dióxido de carbono sendo o ano zero o ano de partida referente ao ano 2000. (GLOBAL WARMING ART) Disponível na página web: [www.globalwarmingart.com](http://www.globalwarmingart.com). Acesso em: 20/08/07.

Saber o comportamento do gás carbônico entre os processos físicos, químicos e biológicos do ciclo de carbono é de muita importância, já que esses processos sequestram e armazenam o gás fazendo uma ciclagem entre seus reservatórios naturais, assim não deixando acumular-se na atmosfera, movimentando-se entre o ecossistema terrestre e os oceanos. Se não for assim ou se houver alguma alteração, o acúmulo de dióxido de carbono será um problema muito sério para a vida na Terra.

Para adquirir uma base de dados adequada para estabelecer impactos humanos na escalas continentais ou globais, é preciso amostrar o ar no mundo inteiro e assim determinar corretamente os gradientes das variações temporais do CO<sub>2</sub> atmosférico que os dados estabelecem, já que são requisitos indispensáveis para um modelo confiável que vincula o sequestro e armazenamento de dióxido de carbono nos reservatórios atmosfera, ecossistema e oceano.

Dados atuais de CO<sub>2</sub> atmosférico são aceitos para os cálculos dos gradientes de CO<sub>2</sub> ao redor de 140 localizações fixas na Terra. Mesmo assim, o número de observações e finas escalas de resolução de fontes e sorvedouros pode ser muito escasso, porque gradientes longitudinais e regionais desses fluxos são dificilmente detectáveis devido a fortes misturas atmosféricas.

Se a variação temporal e espacial nas concentrações de CO<sub>2</sub> na atmosfera é realmente predita mediante um modelo de sequestro e armazenamento, em princípio, é possível a determinação de fortes intercâmbios de CO<sub>2</sub> atmosférico entre o ecossistema terrestre e o oceano, o que permitirá prever os níveis de CO<sub>2</sub> para anos futuros e entender como os reservatórios do ciclo comportaram-se no passado e comportar-se-ão no presente e no futuro.

### 1.3 PROPOSTA E A FINALIDADE DO TRABALHO

Este trabalho propõe-se a desenvolver um modelo simplificado para possibilitar uma melhor compreensão do sequestro e armazenamento do dióxido de carbono atmosférico

com relação à latitude, para um melhor entendimento do ciclo de carbono e suas interações entre os reservatórios.

#### 1.4 OBJETIVO DO TRABALHO

O objetivo do trabalho é apresentar um modelo de seqüestro e armazenamento de dióxido de carbono atmosférico em função dos diferentes reservatórios e sua influência nas zonas térmicas da Terra.

#### 1.5 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

São objetivos específicos:

- Estudar os processos biológicos, químicos e físicos do ciclo de carbono natural e global.
- Quantificar emissões e seqüestro de CO<sub>2</sub>, e as mudanças nos reservatórios.
- Analisar dados científicos do CO<sub>2</sub> para o comportamento em cada uma das zonas térmicas do planeta terra.
- Apresentar uma modelagem de seqüestro e armazenagem de CO<sub>2</sub> na atmosfera.

#### 1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

O estudo está dividido da seguinte maneira:

**Capítulo 1:** Nesta etapa do trabalho desenvolve-se uma pequena introdução para estabelecer o problema de estudo como também se apresentam a proposta e sua finalidade.

**Capítulo 2:** É apresentado o fundamento teórico geral do ciclo natural de carbono, as principais interações entre os reservatórios e a influência do fator antropogênico.

**Capítulo 3:** Desenvolve-se o banco de dados. No entanto, primeiro faz-se a delimitação do espaço e tempo do estudo.

**Capítulo 4:** Descreve-se a metodologia para a modelagem com os dados apresentados no capítulo anterior e, assim, desenvolve-se o modelo de seqüestro e armazenamento de dióxido de carbono atmosférico.

**Capítulo 5:** Apresentam-se os resultados do modelo de seqüestro e armazenamento de dióxido de carbono.

**Capítulo 6:** Apresentam-se as conclusões do trabalho.



## 2 CICLO DO CARBONO

### 2.1 INTRODUÇÃO

Processos naturais continuamente transportam grandes quantidades de carbono presentes na atmosfera em direção aos oceanos e ao ecossistema terrestre, principalmente com o dióxido de carbono (99%  $\text{CO}_2$ , 1%  $\text{CH}_4$  e  $\text{CO}$ ). Em muitas circunstâncias, é razoável assumir que o carbono atmosférico seja inteiramente dióxido de carbono.

A industrialização, as mudanças no uso de solos e outros elementos têm modificado o ciclo biogeoquímico do carbono significativamente durante os anos, mas o dióxido de carbono está constantemente sendo removido da atmosfera como parte do ciclo.

Trabalka (1982) comentou que a quantidade de carbono que retornou da atmosfera através do ciclo de carbono durante os últimos 100 milhões de anos é estimada como 200 a 1000  $\text{TgC.ano}^{-1}$ , sendo este depositado como sedimentos na profundidade da crosta terrestre. Se não houvesse retorno de carbono, a superfície terrestre seria aquecida a ponto de se tornar como Vênus.

Os processos que retiram o carbono da atmosfera são chamados “Reservatórios de Carbono”, conforme é mostrado na figura 2.1.

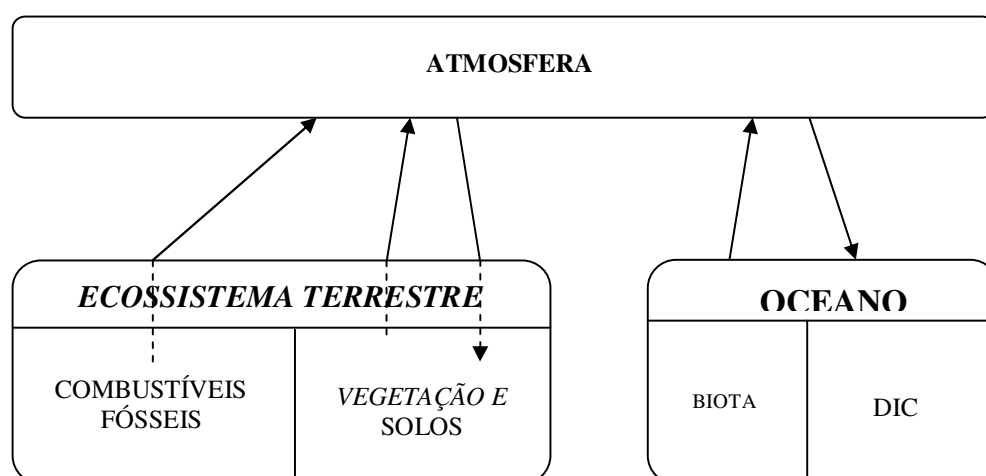


Figura 2.1 - Reservatórios do ciclo natural do carbono (KORHONEN et al, 2002).

## 2.2 CICLO NATURAL DO CARBONO

O ciclo do carbono é uma combinação de muitos processos naturais biológicos, químicos e físicos que movimentam o carbono entre os reservatórios mediante a interação existente entre a atmosfera e o ecossistema terrestre, como também, atmosfera e oceanos (figura 2.2). Estas interações são principalmente compreendidas em dos diferentes processos:

- O primeiro processo é o intercâmbio de dióxido de carbono entre a atmosfera e o ecossistema terrestre.
- O segundo processo é o intercâmbio de dióxido de carbono compreendido entre atmosfera e o oceano.

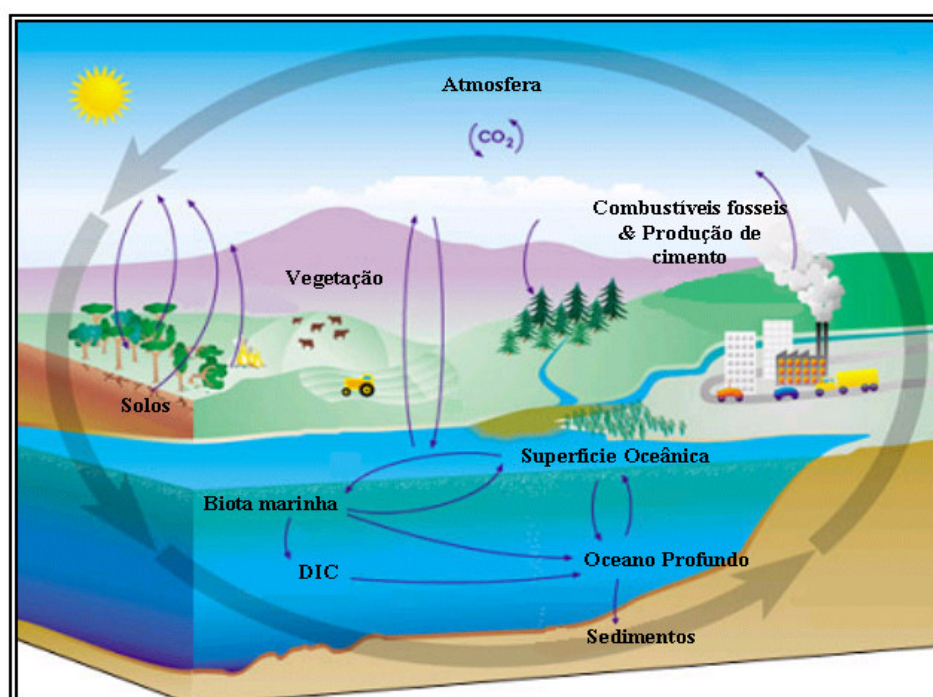


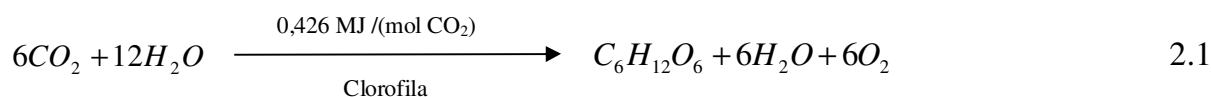
Figura 2.2 - Ciclo do Carbono e suas interações entre reservatórios de  $\text{CO}_2$  (NASA,2004), disponível na pagina web: [http://earthobservatory.nasa.gov/Library/CarbonCycle/carbon\\_cycle4.html](http://earthobservatory.nasa.gov/Library/CarbonCycle/carbon_cycle4.html)

O ciclo do carbono pode ser convenientemente dividido em dois compartimentos: (1) compartimento denominado reservatório, é o maior e mais estável, de movimentos lentos e geralmente não biológicos; e (2) compartimento de ciclagem, que corresponde a uma parcela menor, porém mais ativa, com um intercâmbio rápido de carbono entre os organismos e o ambiente (OLIVEIRA e ARAGÃO, 2004).

### 2.2.1 Ecossistema Terrestre

O Ecossistema Terrestre participa na parte rápida do ciclo, reciclando o  $\text{CO}_2$  entre 1 a 3 anos, mas também armazenando carbono por 50 a 100 anos dentro de florestas e solos (TAKLE, 1996). A fotossíntese é responsável por cerca da metade do carbono extraído da atmosfera e, a soma de carbono na vegetação é em alguma ordem da magnitude da atmosfera (TRABALKA, 1982). Mediante a fotossíntese, remove-se carbono da atmosfera, que é retornado mediante a respiração, sendo o processo que permite às plantas viver e crescer. A fotossíntese ocorre nas folhas das árvores e nas células de organismos microscópicos que vivem na terra e próximo à superfície dos mares e oceanos (as plantas marinhas capturam o dióxido de carbono dissolvido no mar).

O processo usa energia da radiação solar ( $0,426 \text{ MJ} \cdot (\text{mol CO}_2)^{-1}$ ) para converter o dióxido de carbono e a água em açúcares baseados em carbono (glicose), sendo representado pela equação 2.1:



Os açúcares obtidos são, em seguida, convertidos em outras moléculas, como amido, gorduras, proteínas, enzimas e todas as outras moléculas que ocorrem em plantas vivas. A fotossíntese também libera oxigênio à atmosfera, o que os animais precisam para respiração.

### 2.2.1.1. Tipos de floresta do mundo

A biomassa florestal é a maior reserva de carbono terrestre do planeta, tendo uma grande magnitude em fontes e sorvedouros de carbono. O mecanismo responsável pelo sorvedouro pode ser obtido considerando as diferentes zonas, porém a biomassa global é dividida em três florestas principais: *Boreal, Temperada e Tropical*.

#### a) Floresta Boreal (latitudes elevadas):

A zona Boreal está localizada acima dos 50° latitude norte, e as regiões que têm uma significativa extensão de floresta nesta zona são: América do Norte, Ásia, Canadá e Europa. A eco-região norte da floresta boreal é a terça parte da área total de floresta mundial.

A floresta de América do Norte estende-se desde Alaska até Terra Nova, fronteira com as tundras mais ao sul. Conhecida na Rússia como Taiga, as florestas boreais constituem uma das maiores florestas do mundo. Este tipo de floresta é uma comunidade de vegetais sensíveis à variação das condições ambientais, e contém poucas espécies, sendo as mais representativas as Coníferas.

Também compreende uma floresta em regiões subárticas de climas muito frios, longos invernos de aproximadamente seis meses, com diferenças de temperatura acerca dos – 20°C durante o inverno e 17°C durante o verão, porém, as características climáticas da floresta boreal são bem contrastantes, pois os invernos são muito longos e frios e o verão muito curto (MALHI, 1999).

Nas florestas da *zona Boreal* encontram-se as **Tundras e as Taigas**. Uma quantidade de coníferas (Taigas) caracteriza-se por um dossel fechado tendo como espécies de árvores *Pinus strobus* (figura 2.3), *Acer saccharum*, *Fagus americanus*.

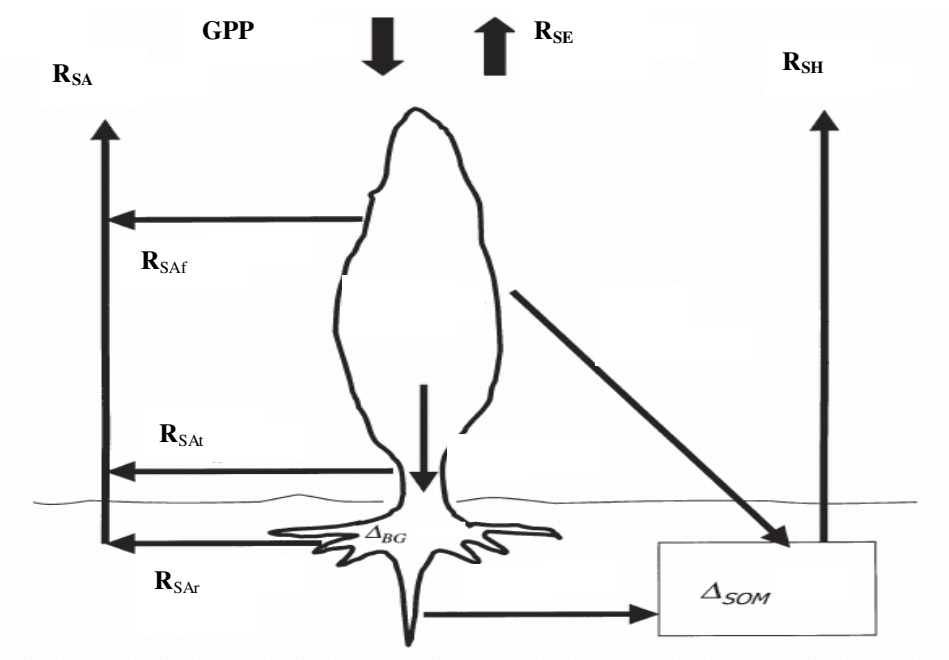


Figura 2.3 - Floresta Boreal “Coníferas Pinus Strobus”. (MALHI, 1999)

Devido às baixas temperaturas, a decomposição é bastante lenta, e as atividades dos microorganismos do solo são limitadas. As grandes folhas das árvores se decompõem lentamente, criando um tapete sobre o solo.

Taninos e outros ácidos promovem camadas muito ácidas acima do solo, e a sombra permanente das árvores mantém sempre a evaporação em um mínimo. Os solos são freqüentemente úmidos, e isto tende a limitar a ciclagem de nutrientes, em comparação com as outras florestas.

#### b) Floresta Temperada (médias latitudes):

Esta zona apresenta quatro estações bem definidas, têm um clima moderado. Há muita diversidade de florestas, mas a principal é a categoria das *decíduous* (figura

2.4), particularmente o *Oak-Hickory*, *Quercus Alba*, *Quercus prinus*, *Carya ovata*, *Acer rubrum* (maples), *Liriodendron tulipifera* e *Pinus Tadea*.

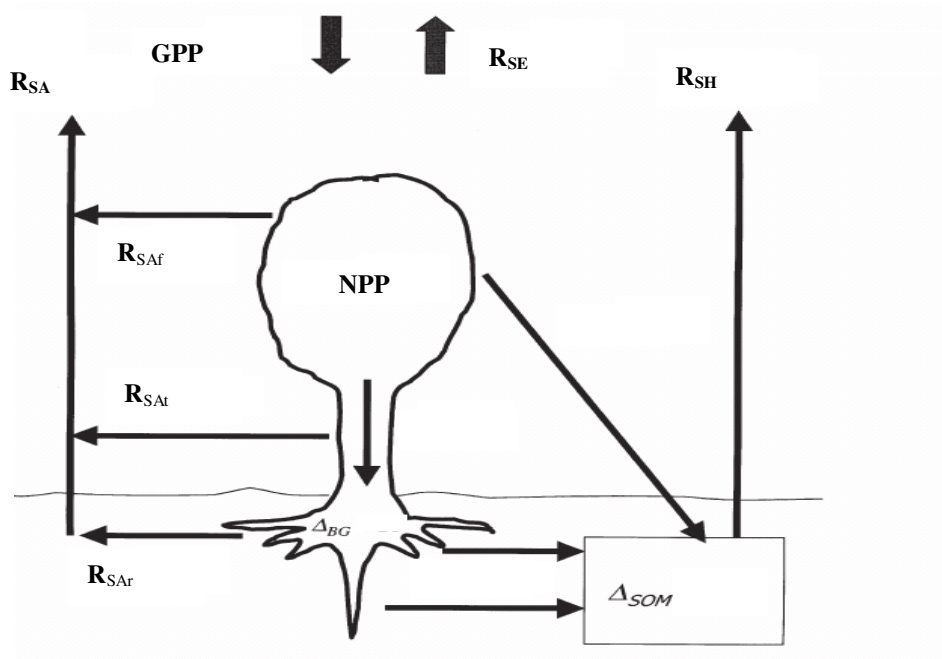


Figura 2.4 - Floresta Temperada “Decíduos Oak-Hickory” (MALHI,1999)

Nas zonas temperadas os invernos são moderados, as chuvas abundantes, áreas montanhosas e zonas úmidas. A temperatura máxima registrada é de 23 °C durante o verão, onde as folhas aumentam quando o tempo aquece e os dias são mais longos. As temperaturas mínimas situam-se em torno de 5 °C no inverno (MALHI, 1999), quando as árvores perdem suas folhas e os dias são mais curtos. Os dias de crescimento das plantas situam-se entre 150-200 dias e o dossel é totalmente cheio de folhas.

c) Florestas Tropicais (baixas latitudes):

A floresta tropical ocorre em três regiões na Terra: na americana, na africana e na indo-malásia. A americana é a maior de todas, cobrindo a região amazônica

compreendida pelo Brasil, e todos os países que lhe fazem fronteira na América do Sul, em direção ao norte até a América Central. Tanto a Floresta Amazônica como a Mata Atlântica fazem parte deste ecossistema.

A zona tropical tinha aproximadamente  $17560.10^3$  km<sup>2</sup> nos anos 1990 de florestas tropicais (MALHI e GRACE, 2000), composta por uma grande quantidade de espécies vegetais e animais; apesar do solo ser muito pobre (Esta pobreza se deve ao fato de haver uma camada de areia que facilita a infiltração rápida da água), nesta floresta ocorre a decomposição da matéria orgânica (folhas, etc) propiciada pela sombra, calor e umidade, formando-se uma camada de cerca de 50 centímetros de húmus.

As florestas tropicais ocupam uma faixa extensa na região equatorial úmida. Essas regiões incluem florestas *evergreen* em solos baixos no equador ( $7180.10^3$  km<sup>2</sup>), floresta úmida *deciduous* ( $5870.10^3$  km<sup>2</sup>) e floresta *deciduous* seca ( $2380.10^3$  km<sup>2</sup>) e florestas montanhosas ( $2130.10^3$  km<sup>2</sup>). (FAO, 2006)

Em torno de 60% de todas as espécies do planeta encontram-se a floresta tropical. Esta biomassa é caracterizada por uma elevada produtividade. A fixação do dióxido de carbono nesta zona é ao redor de  $18000$  TgC.ano<sup>-1</sup> e nas savanas ao redor de  $17000$  TgC, sendo este o 60% da fotossíntese terrestre global. O tamanho das árvores gira em torno de 55 metros (figura 2.5).

Das três florestas, tem-se que: a estimativa de carbono acima do solo é de  $217.10^6$  TgC.ha<sup>-1</sup> nas zonas tropicais (ver Tabela 3.3, no Capítulo 3), sendo a tropical a maior reserva de carbono e a boreal a menor, acontecendo o contrário com as estimativas de carbono abaixo do solo (MALHI, 1999).

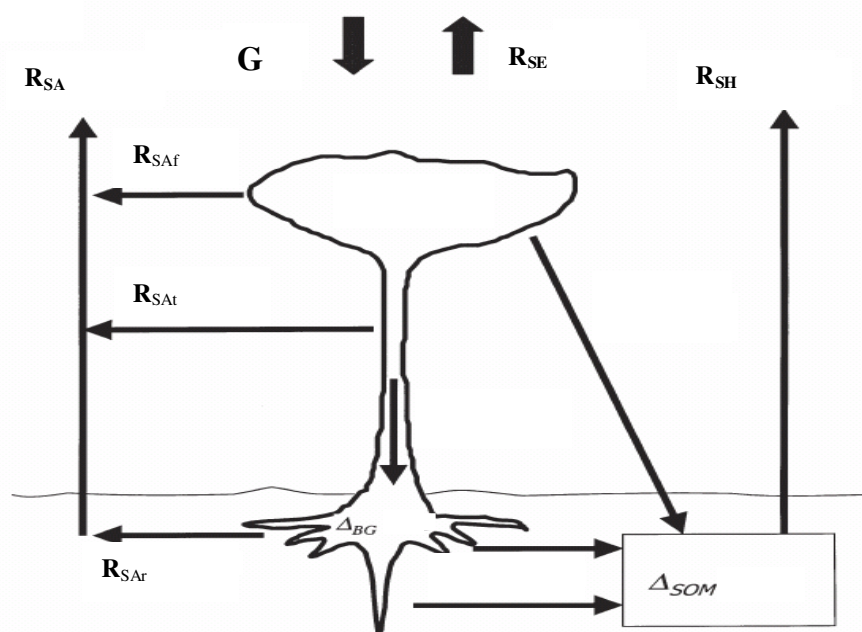


Figura 2.5 - Floresta Tropical “Floresta úmida perto de Manaus Brasil” (MALHI, 1999)

### 2.2.1.2 Índice Biológico Vegetativo Global

Com base nos dados dos observatórios de *Maona Loa*, *Samoa Americana*, *Barrow e Pólo Sul*, observa-se que os níveis de  $\text{CO}_2$  aumentaram constantemente a partir da revolução industrial. Keeling (2001) foi o primeiro a medir o dióxido de carbono de uma maneira contínua, descobrindo assim flutuações nos gráficos, os quais representam o fluxo de carbono no ciclo. Essas flutuações foram atribuídas ao metabolismo do ecossistema terrestre, chamado Índice Biológico Vegetativo Global (IBVG). Os aumentos das concentrações do  $\text{CO}_2$  ocorrem durante o outono e o inverno no Hemisfério Norte (figura 2.6), devido ao fato das gramíneas morrerem e as árvores serem cobertas por neve. Neste caso, o IBVG permanece em um estado latente, e as concentrações de  $\text{CO}_2$  diminuem durante a primavera e o verão (figura 2.7), devido ao fato das plantas absorverem mais  $\text{CO}_2$  do que emitirem por meio da respiração. No Hemisfério Sul, as



flutuações são de amplitudes menores devido ao fato das florestas tropicais absorverem o  $\text{CO}_2$  durante todo o ano, sendo a variabilidade do IBVG não tão drástica.

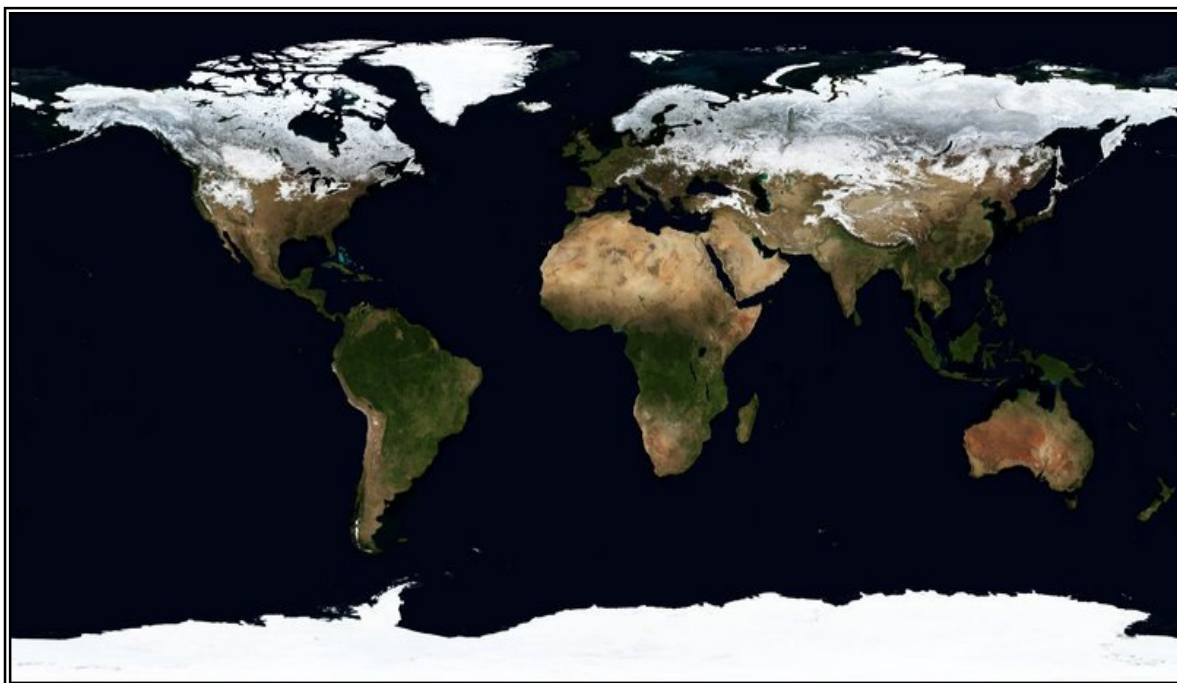


Figura 2.6 - Índice Biológico vegetativo global (IBVG) para os meses Janeiro-Fevereiro (2004) (STÖCKLI, 2005). Disponível na página web: [http://visibleearth.nasa.gov/view\\_rec.php?id=7130](http://visibleearth.nasa.gov/view_rec.php?id=7130), Acesso: Janeiro 2007.

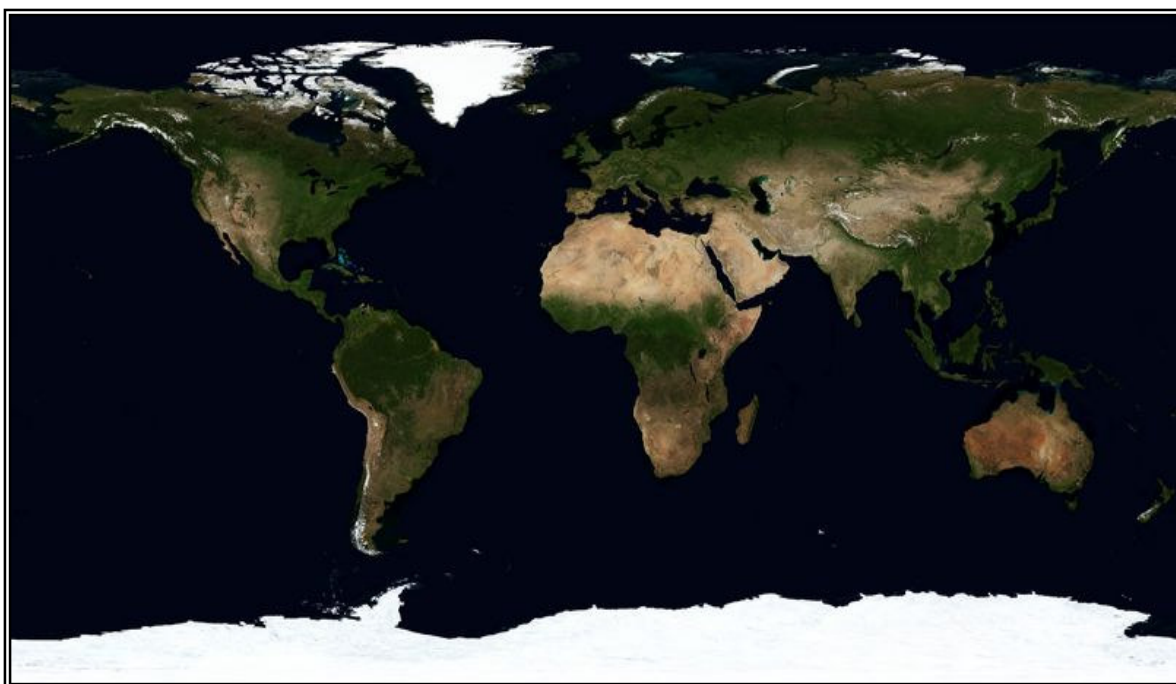


Figura 2.7 - Índice Biológico vegetativo global (IBVG) para os meses Julho-Agosto (2004) (STÖCKLI, 2005) Disponível na página web: [http://visibleearth.nasa.gov/view\\_rec.php?id=7130](http://visibleearth.nasa.gov/view_rec.php?id=7130), Acesso: Janeiro 2007.

### 2.2.2 Oceanos

O dióxido de carbono é o gás usado para fazer a efervescência em refrigerantes. É mais solúvel em altas pressões e baixas temperaturas. É por isso que o refrigerante é normalmente servido frio em latas ou garrafas. Com a abertura da lata ou garrafa, uma quantidade de CO<sub>2</sub> permanecerá dissolvida na pressão e na temperatura ambiente. Este mesmo fenômeno é desenvolvido nos oceanos, e é por isso que os oceanos mais frios absorvem mais CO<sub>2</sub> do que as águas mais quentes.

A camada delgada de água é altamente estruturada e de aquecimento desigual na superfície. Essa mistura de camadas é de 30 m de profundidade nos trópicos e aumenta com o aumento da latitude. A temperatura da superfície marinha vai de 30°C perto do equador até -1,5°C em latitudes elevadas (pólos), tendo elevadas densidades na água do mar.

Apesar da estratificação, os oceanos são surpreendentemente uniformes em sua composição. Variações na salinidade da água provêm um importante meio de identificação de massas de água e determinam a natureza da circulação. Essas variações são geralmente pequenas. A salinidade média tem valor ao redor de 34,7 g/kg de Sódio, e no oceano aberto raramente excede a 1%, com exceção na zona superficial. A composição oceânica em proporção molar de sódio é apresentada na Tabela 2.1.

Tabela 2.1 - Composição oceânica em proporção molar ao sódio.

| <b>Composto</b> | <b>Proporção molar</b> |
|-----------------|------------------------|
| Magnésio        | 0,114                  |
| Sulfato         | 0,0600                 |
| Cálcio          | 0,0218                 |
| Potássio        | 0,0211                 |
| Brometo         | 0,00177                |
| Acido Bórico    | 0,00093                |

Fonte: Trabalka (1982)

Moléculas de dióxido de carbono são continuamente misturadas à água do mar por meio de vários processos físicos, químicos e biológicos. Os processos físicos incluem a movimentação do carbono de um lugar a outro mediante movimentos de:

- Advecção (chamada *Corrente Oceânica*) e,
- Difusão vertical dos níveis da água (chamados *upwelling* e *downwelling*).

A advecção é o fluxo de água de mar dentro do oceano. Por meio desse processo físico é feito o transporte dos nutrientes nas profundidades dos oceanos, assim como são aquecidas as águas nas zonas frias e esfriadas as águas nas zonas quentes. O processo físico, chamado “*Corrente Oceânica*”, corresponde ao transporte das águas frias, que se aprofundam no Atlântico Norte pelo *downwelling* de águas salgadas. Essas águas salgadas viajam ao longo das costas das Américas para submergir com as correntes circumpolares, as quais alimentam os oceanos Índico e Pacífico. Já na zona equatorial, as águas realizam o *upwelling* e assim o fluxo das águas retorna até a superfície quente, circulando ao redor do Sul da África, no Atlântico (figura 2.8).

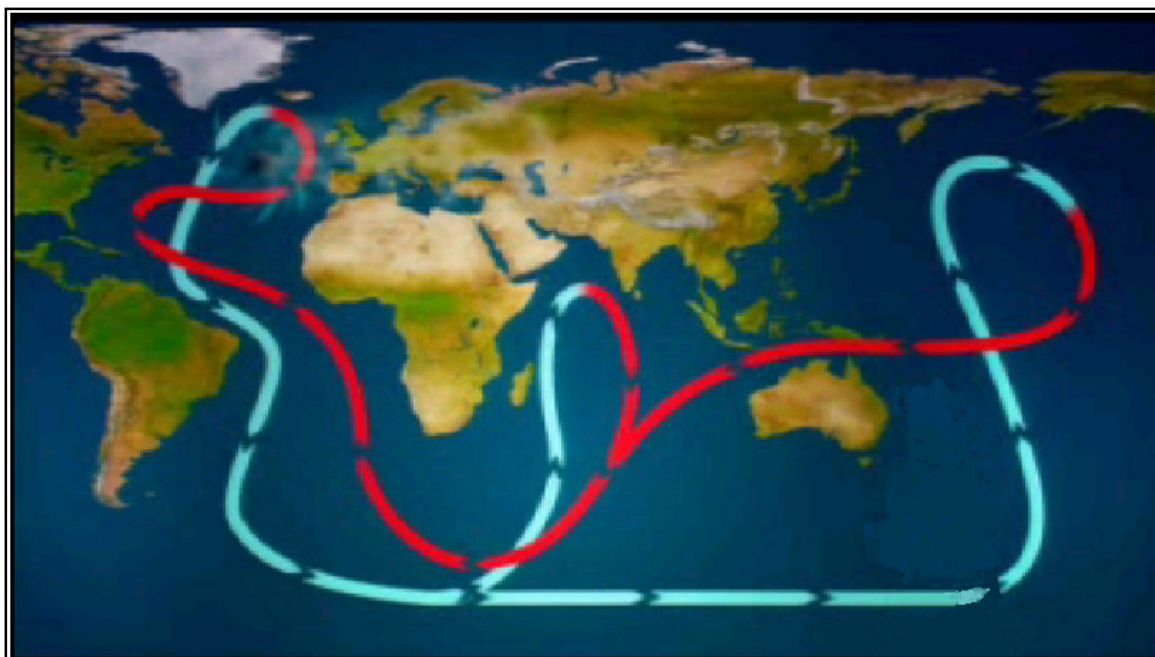


Figura 2.8 - A grande corrente de transporte oceânica. Extraída do documentário “Uma verdade inconveniente” (Al Gore, 2007).

Um intercâmbio relativamente rápido de CO<sub>2</sub> acontece entre a superfície do oceano e a atmosfera, embora a pressão parcial de CO<sub>2</sub> gerada pela água possa diferir da pressão parcial atmosférica local por mais de 100  $\mu\text{atm}^{-1}$ , em ambas as direções (TAKAHASHI, 1983). Geralmente a pressão parcial de CO<sub>2</sub> da água superficial é pequena em regiões polares, onde o esfriamento e o *downwelling* se desenvolvem, e elevadas nas regiões equatoriais, onde acontece o aquecimento e *upwelling*.

O *upwelling* é um processo oceanográfico que vincula as direções do vento com a movimentação de águas densas, frias e usualmente ricas em nutrientes em direção à superfície oceânica. Há três tipos de *upwelling*: o costeiro, o equatorial e o de larga difusão no oceano interior.

- a) *Upwelling* costeiro (figura 2.9): tipo mais conhecido e mais relacionado com as atividades humanas. Suas águas profundas são ricas em nutrientes (nitratos e fosfatos). Quando chegam à superfície, esses nutrientes são usados pelo fitoplâncton.
- b) *Upwelling* equatorial (figura 2.10): os ventos leste arrastam as águas superficiais ao longo do equador em direção a ambos hemisférios.
- c) *Upwelling* do oceano sul (figura 2.11): é denotado como o arraste das águas ao longo do oceano antártico até a zona equatorial onde ocorrem a ressurgências das águas.

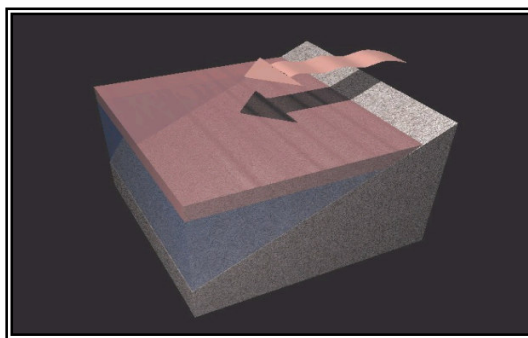


Figura 2.9 – Fenômenos da circulação oceânica, *Upwelling Costeiro* (BLENDER, 2005), disponível em: <http://en.wikipedia.org/wiki/Upwelling>. Acesso em: Agosto 2007.

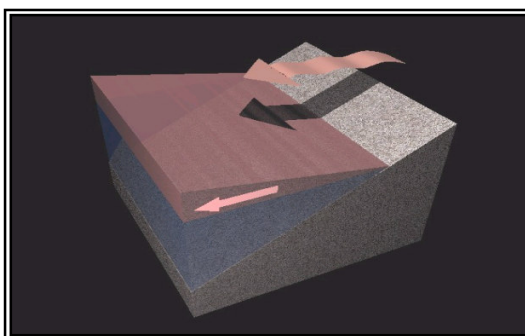


Figura 2.10 – Fenômenos da circulação oceânica, *Upwelling equatorial* (BLENDER, 2005), disponível em: <http://en.wikipedia.org/wiki/Upwelling>. Acesso em: Agosto 2007.

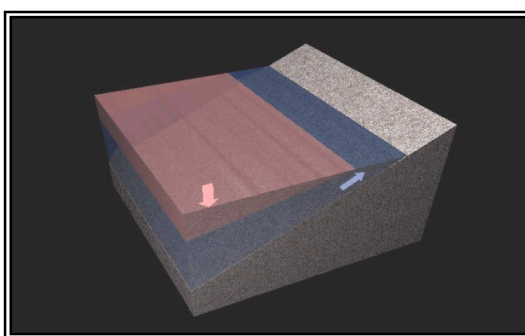


Figura 2.11 – Fenômenos da circulação oceânica, *Upwelling do Oceano Sul* (BLENDER, 2005), disponível em: <http://en.wikipedia.org/wiki/Upwelling>. Acesso em: Agosto 2007.

O *downwelling* é o processo contrário ao *upwelling*. É a submersão das águas até as profundidades do oceano. Os padrões das superfícies oceânicas são muito complexos, por três razões:

- A circulação da água é fortemente afetada pelas camadas oceânicas e pela rotação da terra.
- Existem condições da superfície que direcionam a circulação oceânica, como vento, mudanças de temperatura, evaporação, precipitação.
- A densidade também depende da salinidade, a qual é afetada pela evaporação e precipitação na superfície e pelo congelamento e degelo das regiões polares.

### 2.2.2.1 Reatividade do dióxido de carbono

O dióxido de carbono não é inerte, e suas reações com a água são usualmente representadas pelas equações seguintes:



Nas quais (g) denota gás e (aq) denota aquoso e  $H_2CO_3$  é denotado como o total de  $CO_2$  dissolvido e  $H_2CO_3$  molecular (referido ao ácido carbônico). Esse ácido pode ser dissociado em duas etapas, primeiro para a formação do íon  $HCO_3^-$ :



e depois o íon carbonato ( $CO_3^{2-}$ ):



Essas reações são rápidas e o equilíbrio local em volumes pequenos de superfícies marinhas pode ser assumido, sendo essas condições representadas quantitativamente mediante as equações de equilíbrio, nas quais um quociente de reação é definido mediante as três reações representadas pelas equações 2.2, 2.3, 2.4 (ver Tabela 2.2), sendo  $K_2$  é a constante de hidratação de  $CO_2$ ,  $K_3$  é a primeira constante ácida,  $K_4$  e a segunda constante ácida.

Tabela 2.2 - Química do carbono nos oceanos.

| Constantes de equilíbrio | Formulação                        | Valor            |
|--------------------------|-----------------------------------|------------------|
| $K_2$                    | $[H_2CO_3]/pCO_2$                 | $3,746.10^{-2}$  |
| $K_3$                    | $[HCO_3^-][H^+]/[H_2CO_3]$        | $1,106.10^{-6}$  |
| $K_4$                    | $[CO_3^{2-}][H^+]/[HCO_3^-]$      | $7,816.10^{-10}$ |
| TC                       | $[H_2CO_3]+[HCO_3^-]+[CO_3^{2-}]$ |                  |

Fonte : TRABALKA (1982).

Assim, o carbono inorgânico pode ocorrer no ambiente aquático em três formas principais: carbono inorgânico livre ( $H_2CO_3^*$ ), íons bicarbonato ( $HCO_3^-$ ) e carbonato ( $CO_3^{2-}$ ), sendo esta formulação dependente do pH do meio. Com pH abaixo de 6,3, predomina a reação do carbono inorgânico livre; pH entre 6,3 e 10,25 predomina o íon  $HCO_3^-$ ; com pH a partir de 10,25, o íon dominante é o  $CO_3^{2-}$ .

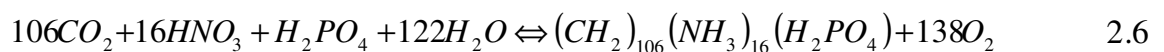
Apesar das extensivas medições conduzidas durante os 1990, medidas de  $pCO_2$  em águas superficiais permanecem escassas e a interpolação espacial e temporal é requerida para se ter um campo global.

Dados de interpolação coletados sobre a superfície marinha (ao redor do planeta) dependem do vento e do coeficiente de transferência do gás. Esses dados foram usados para obter fluxos líquidos mensais de  $CO_2$  apresentados por Takahashi (2002). Os dados correspondem ao período 1995 a 2000.

### 2.2.2.2 Química biológica do carbono nos oceanos

As concentrações de carbono inorgânico, oxigênio, elementos nutrientes (nitrogênio, fosfatos, silício) são mais variáveis devido aos processos biológicos. Os processos biológicos também dirigem distribuições regionais e estacionais dos fluxos de CO<sub>2</sub>.

Os processos biológicos são os maiores responsáveis por esses tipos de deficiência. Isto pode ser entendido em uma representação idealizada da fotossíntese marinha (ver Equação 2.6), a qual é endotérmica e precisa de luz solar para reduzir o carbono e o nitrogênio para produzir grandes quantidades de energia química:



A GPP “*Gross Primary Productivity ou Produtividade total*” para fitoplâncton oceânico é de 103000 TgC.ano<sup>-1</sup>, conforme estimado por Bender (1996). Uma quantidade retorna como carbono inorgânico dissolvido (*DIC*) através da respiração autotrófica, estimada nas bases de dados globais (45000 TgC.ano<sup>-1</sup>) para a produtividade primaria neta (*NPP*). Em redor de 14-30% acontece nas zonas costeiras.

Como resultado, o carbono orgânico é consumido pelo zooplâncton, o detrito de algum carbono orgânico é eliminado na forma dissolvida e depois oxidado pelas bactérias e a outra fração é depositada nos reservatório oceânico como produção do Carbono Orgânico Dissolvido (*DOC*) (figura 2.12).

Na respiração heterotrófica nas águas profundas, o carbono orgânico retorna a carbono inorgânico dissolvido (*DIC*) eventualmente em outras localizações. Este DIC realiza o *upwelling* em direção às capas superficiais novamente e assim novamente equilibra-se com o CO<sub>2</sub> atmosférico. Este mecanismo é referido como bomba biológica, mantendo assim elevadas concentrações de DIC nas profundidades. Contudo, a concentração na atmosfera é cerca de 200 ppm menor, graças a este mecanismo (SARMIENTO, 1994).



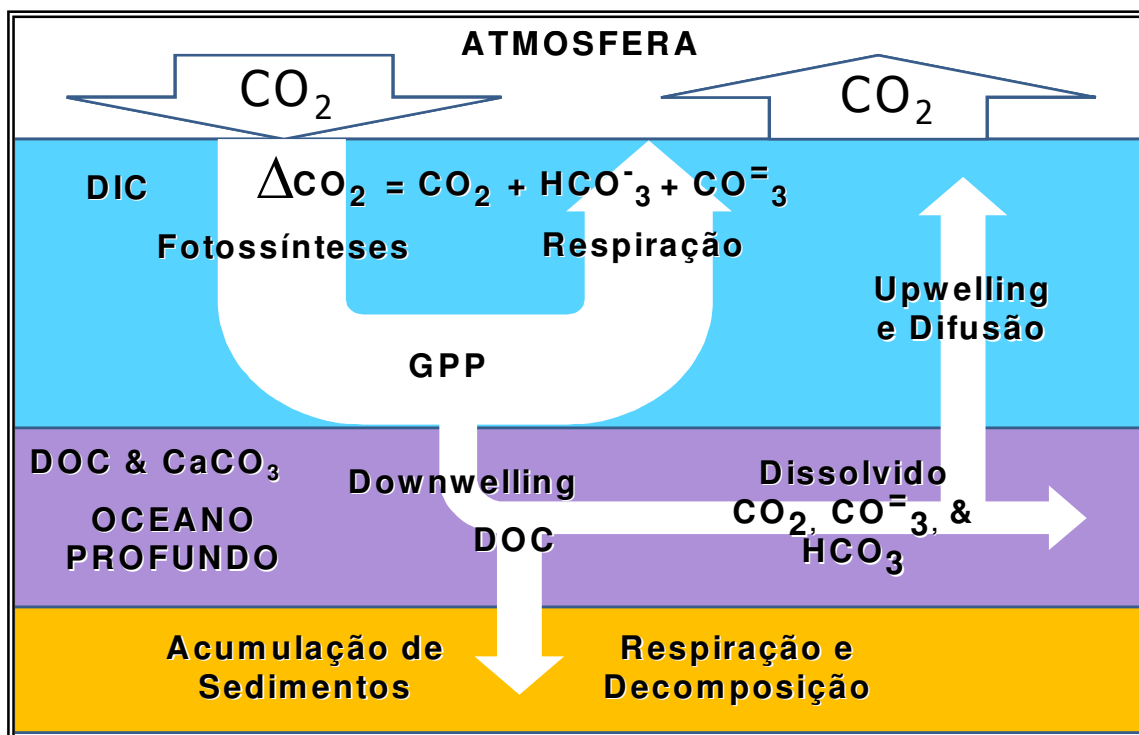


Figura 2.12 - Esquema do processo “Bomba Biológica”.

Organismos marinhos também formam conchas de cálcio sólido ( $\text{CaCO}_3$ ) que acumulam em sedimentos, corais, arrecifes e areia. Este processo esgota o  $\text{CO}_3^{2-}$ , reduzindo a alcalinidade e incrementando a pressão parcial de  $\text{CO}_2$  ( $p\text{CO}_2$ ), direcionando assim a saída de  $\text{CO}_2$  para a atmosfera. A formação de  $\text{CaCO}_3$  na superfície marinha e os fluxos de água-ar afetam a produção de carbono orgânico. Para os oceanos, a proporção entre exportar carbono orgânico e exportar carbonato de cálcio é um fator criticamente controlado sobre a atividade biológica no oceano superficial.

### 2.2.3 Atmosfera

O termo atmosfera padrão é utilizado para definir a atmosfera sob condições normais de temperatura e pressão (273 K e 1 atm.), composta por substâncias em concentrações médias encontradas na atmosfera limpa, ou seja, na atmosfera que não

sofreu alterações antropogênicas. Os valores médios encontrados ao nível do mar, para substâncias comuns em de ar seco, são apresentados na Tabela 2.3.

Tabela 2.3 - Composição média do ar seco no nível do mar (1 atm; 298 K).

| <b>Substâncias</b>                           | <b>Concentração (ppm)</b> | <b>Concentração (<math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>)</b> |
|--|---------------------------|---|
| Nitrogênio ( $\text{N}_2$ )                  | 780 840                   | $8,95 \cdot 10^8$   |
| Oxigênio ( $\text{O}_2$ )                    | 209 460                   | $2,74 \cdot 10^8$   |
| Argônio (Ar)                                 | 9 340                     | $1,52 \cdot 10^7$   |
| Dióxido de Carbono ( $\text{CO}_2$ )         | 315                       | $5,67 \cdot 10^5$   |
| Neônio (Ne)                                  | 18                        | $1,49 \cdot 10^4$   |
| Hélio (He)                                   | 5                         | $8,50 \cdot 10^2$   |
| Metano ( $\text{CH}_4$ )                     | 1                         | $7,87 \cdot 10^2$   |
| Criptônio (Kr)                               | 1                         | $3,43 \cdot 10^3$   |
| Óxido de Nitrogênio ( $\text{N}_2\text{O}$ ) | 0,50                      | $9,00 \cdot 10^2$   |
| Hidrogênio ( $\text{H}_2$ )                  | 0,50                      | $4,13 \cdot 10^1$   |
| Xenônio (Xe)                                 | 0,08                      | $4,29 \cdot 10^2$   |

Fonte: SEINFELD (1984).

A qualidade do ar é significativamente influenciada pela velocidade, direção dos ventos e a estabilidade atmosférica, que determina a dispersão dos poluentes nas massas de ar. Uma desigualdade ou instabilidade nas camadas atmosféricas produz a geração de crista e vales de capa cisalhante (figura 2.13).

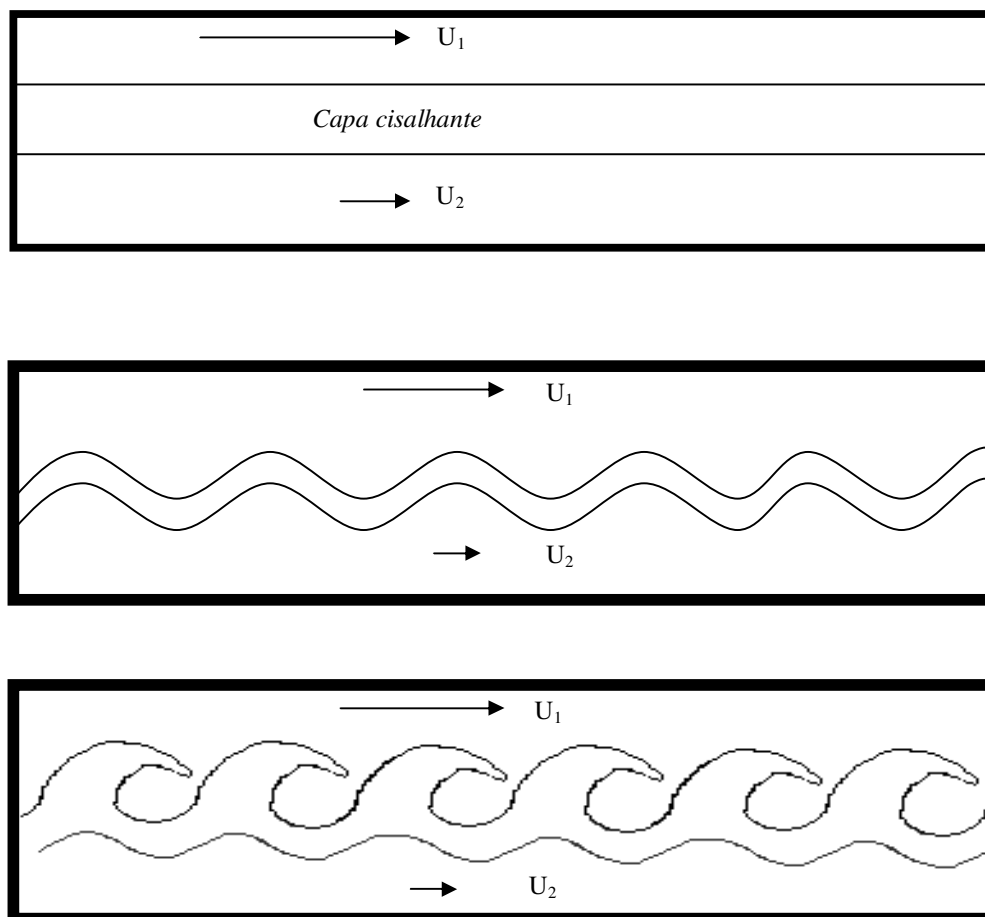


Figura 2.13 - Formação da camada de mistura num regime turbulento (HARRISON, 2006).

É natural que, sobre as cristas, a pressão seja menor que no interior dos vales de capa, uma vez que as velocidades são maiores e menores respectivamente (FREIRE et al., 2002). A camada de mistura produz, assim, turbulência atmosférica nas camadas mais baixas (HARRISON, 2006).

A turbulência aumenta o poder de difusão de um escoamento; em consequência, a mistura de massas de ar com os contaminantes no escoamento é melhor em regimes turbulentos (FREIRE et al., 2002).

Outro fator que afeta a instabilidade atmosférica além da turbulência é a temperatura. A pressão na atmosfera diminui exponencialmente com a altura; assim, o ar

se movimentam mediante as quedas de pressão e densidade, as quais são modificadas pelo efeito Coriolis, tomando uma direção lateral descendente e ascendente. O ar ascendente se expande quando a pressão diminui e, com essa expansão, a temperatura diminui (figura 2.14). Simples cálculos baseados nas propriedades dos gases concluem que a temperatura atmosférica decresce com a altura a uma razão de  $9,8^{\circ}\text{C.km}^{-1}$  (HARRISON, 2006).

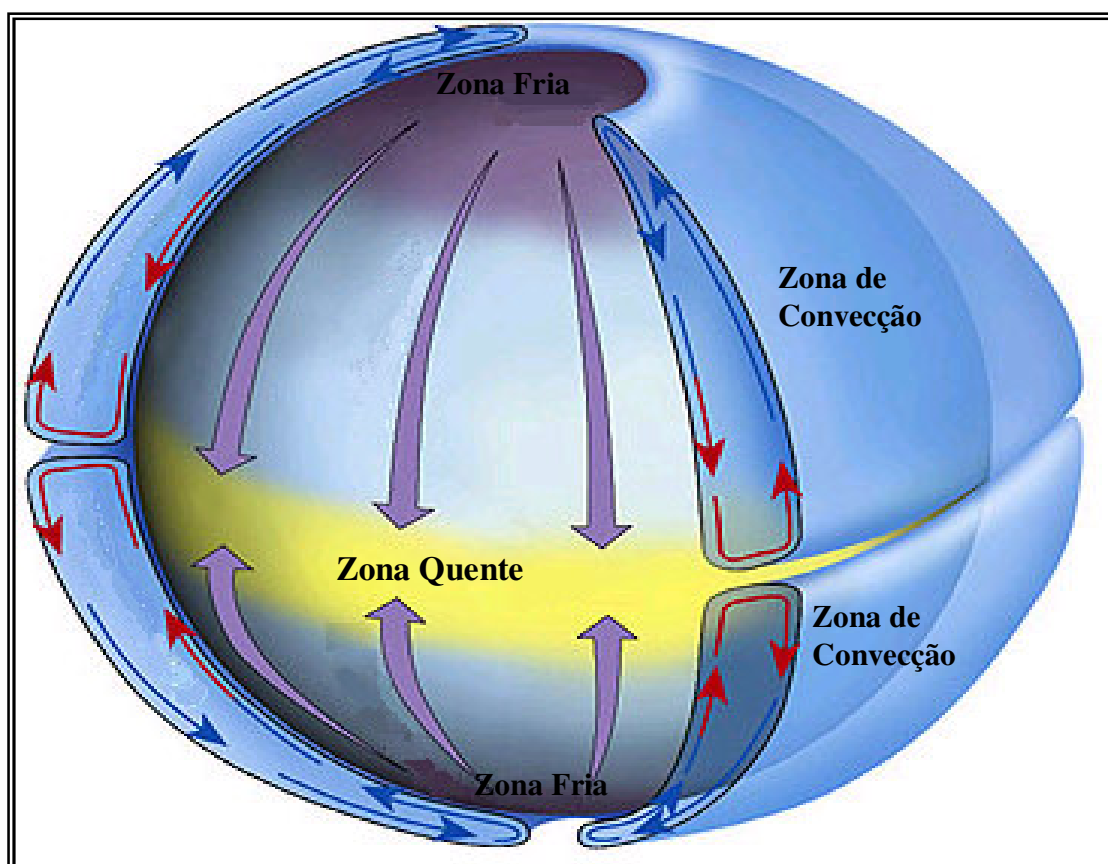


Figura 2.14 – Circulação Atmosférica (NASA, 2004) Disponível em: [http://rst.gsfc.nasa.gov/Sect14/Sect14\\_1c.html](http://rst.gsfc.nasa.gov/Sect14/Sect14_1c.html). Acesso em: Abril 2008.

### 2.3 FLUXOS DE DIÓXIDO DE CARBONO ENTRE OS RESERVATÓRIOS

Para ter o conhecimento de quais são os fluxos entre os reservatórios, aplicam-se os princípios de conservação de massa (ver equação 2.7), identificando onde se realiza o seqüestro e a armazenagem de dióxido de carbono atmosférico.

O sistema que se utilizou consta de dois sistemas interligados. O principal sistema onde se realiza a armazenagem de dióxido de carbono é a atmosfera, a qual apresenta vários fluxos de entrada e saída. Esses fluxos de entradas e saídas pertencem a subsistemas de seqüestro e emissão de dióxido de carbono atmosférico.

A figura 2.15 representa os sistemas a utilizados e como o sistema principal é interligado com os sistemas secundários. Cabe mencionar que a somatória dos fluxos dos reservatórios é a acumulação de dióxido de carbono atmosférico para o dito reservatório, o que também representa o seqüestro de dióxido de carbono da atmosfera.

Para fazer o equacionamento deve-se primeiro aplicar a equação geral do balanço de massa:

$$\left\{ \begin{array}{c} \text{ACUM} \\ \text{Dentro do} \\ \text{Sistema} \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{c} \text{ENTRADA} \\ \text{ao} \\ \text{Sistema} \end{array} \right\} - \left\{ \begin{array}{c} \text{SAÍDA} \\ \text{do} \\ \text{Sistema} \end{array} \right\} \quad 2.7$$

Assim como o sistema principal é a atmosfera tem-se:

$$ACUM_{atm} = IN_{atm} - OUT_{atm} \quad 2.8$$

$$\left\{ \begin{array}{c} \text{ACUM} \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{c} (\text{ENTRADA})_{ET} \\ (\text{ENTRADA})_{OC} \\ (\text{ENTRADA})_{ANTROP} \end{array} \right\} - \left\{ \begin{array}{c} (\text{SAÍDA})_{ET} \\ (\text{SAÍDA})_{OC} \end{array} \right\} \quad 2.9$$

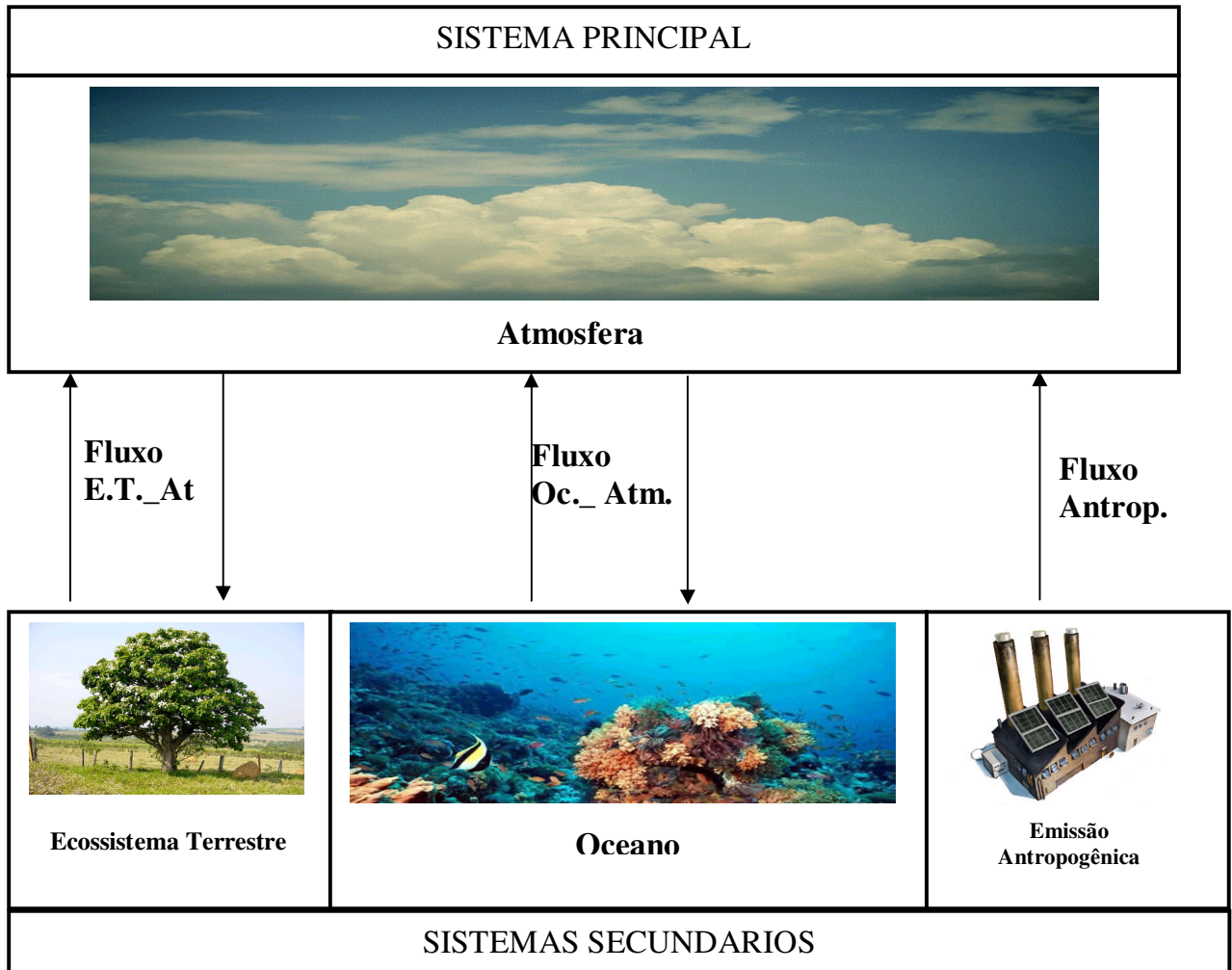


Figura 2.15 - Identificação dos sistemas para o balanço de massa.

Para o fluxo ou interação entre o ecossistema terrestre e a atmosfera se tem a equação 2.10:

$$\left(\frac{dm_{CO_2}}{dt}\right)_{ET\_atm} = (f_{CO_2})_{ET\_atm} = (\dot{m}_{CO_2})_{ET\_atm}^{SAÍDA} - \left(\dot{m}_{CO_2}\right)_{ET\_atm}^{ENTRADA} \quad 2.10$$

e para o fluxo ou interação entre o oceano e a atmosfera tem-se a eq. 2.11:

$$\left(\frac{dm_{CO_2}}{dt}\right)_{OC\_atm} = (f_{CO_2})_{OC\_atm} = (\dot{m}_{CO_2})_{OC\_atm}^{SAÍDA} - \left(\dot{m}_{CO_2}\right)_{OC\_atm}^{ENTRADA} \quad 2.11$$

e, por último, para a influência antropogênica e a atmosfera tem-se:

$$\left(\frac{dm_{CO_2}}{dt}\right)_{ANTROP\_atm} = (f_{CO_2})_{ANTROP\_atm} = (\dot{m}_{CO_2})_{ANTROP\_atm}^{SAÍDA} - \left(\dot{m}_{CO_2}\right)_{ANTROP\_atm}^{ENTRADA} \quad 2.12$$

Na qual  $\left(\dot{m}_{CO_2}\right)_{ANTROP\_atm}^{ENTRADA} = 0$ . Assim, a equação para a influência antropogênica fica:

$$\left(\frac{dm_{CO_2}}{dt}\right)_{ANTROP\_atm} = (f_{CO_2})_{ANTROP\_atm} = (\dot{m}_{CO_2})_{ANTROP\_atm}^{SAÍDA} \quad 2.13$$

Juntando as equações 2.10, 2.11, 2.13 na equação 2.9 tem-se a equação 2.14:

$$ACUM_{atm} = (f_{CO_2})_{ET\_atm} + (f_{CO_2})_{OC\_atm} + (f_{CO_2})_{ANTROP\_atm} \quad 2.14$$

Na qual:

$ACUM_{atm}$  = Acumulação anual de dióxido de carbono na atmosfera (TgC.ano<sup>-1</sup>)

$(f_{CO_2})_{ET\_atm}$  = Fluxo anual de dióxido de carbono entre o ecossistema terrestre e a atmosfera (TgC.ano<sup>-1</sup>)

$(f_{CO_2})_{OC\_atm}$  = Fluxo anual de dióxido de carbono entre o oceano e a atmosfera (TgC.ano<sup>-1</sup>)

$(f_{CO_2})_{ANTROP\_atm}$  = Fluxo anual de dióxido de carbono das emissões antropogênicas à atmosfera (TgC.ano<sup>-1</sup>)

$(\dot{m}_{CO_2})_{ET\_atm}^{SAÍDA}$  = Massa anual de dióxido de carbono saindo do ecossistema terrestre à atmosfera (TgC.ano<sup>-1</sup>)

$(\dot{m}_{CO_2})_{ET\_atm}^{ENTRADA}$  = Massa anual de dióxido de carbono entrando ao ecossistema terrestre da atmosfera.(TgC.ano<sup>-1</sup>)

$(\dot{m}_{CO_2})_{OC\_atm}^{SAÍDA}$  = Massa anual de dióxido de carbono saindo do oceano à atmosfera (TgC.ano<sup>-1</sup>)

$(\dot{m}_{CO_2})_{OC\_atm}^{ENTRADA}$  = Massa anual de dióxido de carbono entrando ao oceano da atmosfera (TgC.ano<sup>-1</sup>).

$(\dot{m}_{CO_2})_{ANTROP\_atm}^{SAÍDA}$  = Massa anual saindo do sistema antropogênicas (TgC.ano<sup>-1</sup>).

$(\dot{m}_{CO_2})_{ANTROP\_atm}^{ENTRADA}$  = Massa anual de entrando ao sistema antropogênico (TgC.ano<sup>-1</sup>)

### 2.3.1 Fluxo de CO<sub>2</sub> entre Ecossistema Terrestre e Atmosfera

Houghton (1999) assume que os mecanismos responsáveis pelos sorvedouros de dióxido de carbono atmosférico no ecossistema terrestre são:

- Os fatores metabólicos que afetam a velocidade da fotossíntese, respiração, crescimento e decomposição nas plantas.
- A taxa de crescimento da floresta perdida, na mudança de uso de solos, o manejo que afeta a mortalidade de floresta re-plantada, e assim a velocidade de acumulação de carbono no ecossistema terrestre.



### 2.3.1.1 Sistema dinâmico de intercâmbio de dióxido de carbono

Durante a noite, a planta elimina uma parte do  $\text{CO}_2$  consumido majoritariamente pelas folhas. Outra pequena parte é acumulada para o incremento da planta e o restante é enviado para baixo do solo. A raiz toma uma pequena parte para seu crescimento e o restante é eliminado pela respiração da raiz e para a produção de detritos. Do total produzido nos detritos, uma quantidade é acumulada no solo para o incremento de carbono e outra parte é respirada, eliminando o  $\text{CO}_2$  à atmosfera. Este processo é mostrado esquematicamente na figura 2.16.

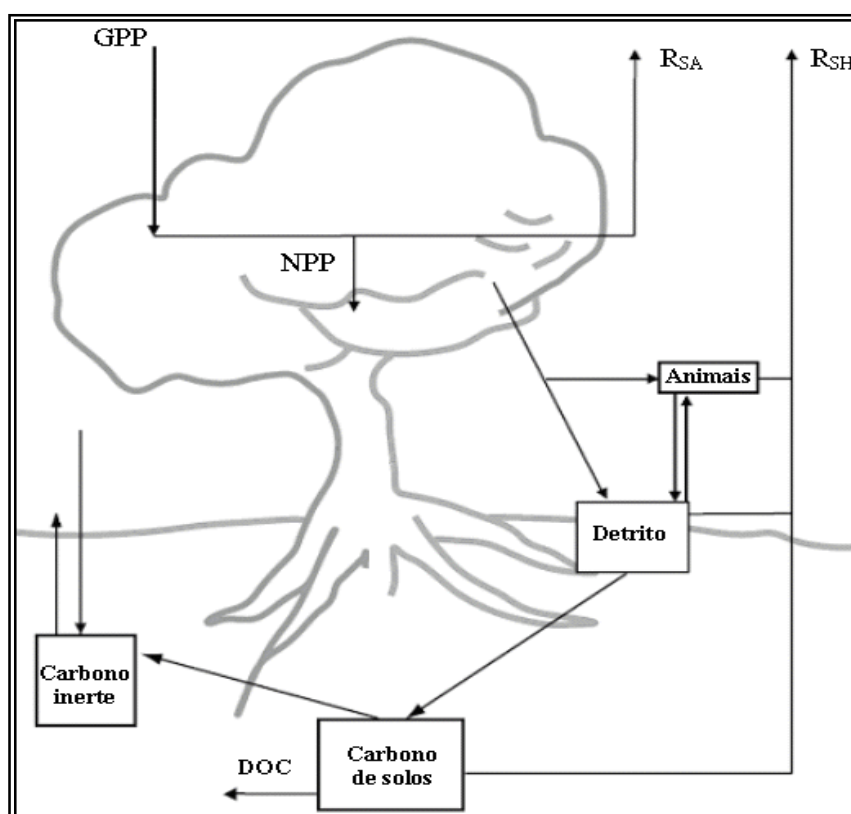


Figura 2.16 - Processo de intercâmbio de  $\text{CO}_2$  do ecossistema terrestre – atmosfera (IPCC, 2001)

Muitas árvores adquirem o  $\text{CO}_2$  mediante a difusão através dos diminutos poros nas folhas, onde o carbono é assimilado. Esse processo é chamado “assimilação” até chegar

ao local da fotossíntese. A quantidade total de CO<sub>2</sub> que é dissolvida pelo reservatório corresponde a aproximadamente 270000 TgC.ano<sup>-1</sup>, um terço do CO<sub>2</sub> total na atmosfera (HOUGHTON, 1986), mas só a metade deste carbono é utilizado para manter seus sistemas e prover energia para seu crescimento (RYAN, 1991). O resto é eliminado na forma de CO<sub>2</sub> para a atmosfera mediante os processos de respiração.

O processo de respiração é especificado como “respiração autotrófica” e “respiração heterotrófica”. A respiração autotrófica é realizada pela árvore para eliminar o excedente de CO<sub>2</sub> assimilado; depois da morte da árvore, o carbono é re-utilizado pelos organismos próprios do solo que aproveitam o carbono armazenado. Esses organismos realizam a segunda respiração chamada “respiração heterotrófica”, eliminando assim outra quantidade de CO<sub>2</sub>.

#### 2.3.1.2 Modelagem do processo de respiração das plantas e solos

As quantidades de carbono na floresta registradas são um balanço de massa entre processos de aquisição de carbono (fotossíntese, crescimento das árvores, envelhecimento das árvores, acumulação de carbono no solo) e processos de eliminação de carbono (respiração da biomassa viva, mortalidade de árvores, decomposição, oxidação de solos, degradação e mudanças no uso de solos). Esses processos operam em uma escala de tempo e são influenciados pelos climas e variáveis ambientais, tais como a temperatura e a umidade.

Para descrever o funcionamento do ecossistema como um todo, são utilizadas as interações dinâmicas entre os componentes dos processos de respiração. O intercâmbio do ecossistema líquido (NEE), também chamado balanço de carbono entre a floresta e a atmosfera, é quantificado mediante a covariância de Eddy (MALHI, 2001; HOUGHTON, 1999). O intercâmbio líquido do ecossistema considera fluxos opostos de entrada de CO<sub>2</sub>, próprio da fotossíntese, e a saída de CO<sub>2</sub>, resultante das respirações autotrófica e heterotrófica. Esses fluxos e as variáveis ambientais interagem.

Conforme mencionado, as plantas verdes, através do processo da fotossíntese, extraem energia solar e a convertem em uma forma útil para outros níveis na corrente de alimento. Neste processo, as plantas que contêm clorofila, produzem principalmente açúcares pela reação (2.1).

O que define a fixação de carbono nas plantas do ecossistema terrestre para a produção de açúcares simples é a equação da reação (2.1).

Do total de dióxido de carbono fixado (GPP), o excesso de CO<sub>2</sub> é eliminado pelas árvores pela “respiração autotrófica”. Assim tem-se a equação 2.15:

$$NPP = GPP - R_{SA} \quad 2.15$$

Na qual NPP é a matéria aproveitável para o consumo dos micróbios e animais (heterótrofos). Se for consumida e não acumulada para o crescimento da planta, essa matéria é retornada à atmosfera mediante a respiração heterotrófica. O que não é consumido, é acumulado (NEP), como matéria para crescimento das plantas. Assim:

$$NEP = NPP - R_{SH} \quad 2.16$$

$$NEP = GPP - R_{SE} \quad 2.17$$

Na qual o R<sub>SE</sub> é a soma das respirações autotrófica e a heterotrófica. Todas essas equações são medidas em termos de massa de matéria orgânica em plantas e solos. Os termos de

produção representam os fluxos da atmosfera a o ecossistema terrestre, porém, para o intercâmbio do ecossistema terrestre (NEE) à atmosfera será:

$$NEE = -NEP \quad 2.18$$

Sendo:

GPP = Produtividade Primária Total (TgC)

NPP = Produtividade Primária líquida (TgC)

NEP = Produtividade do Ecossistema líquida (TgC)

NEE = Intercâmbio do ecossistema líquido (TgC)

R<sub>SH</sub> = Respiração Heterotrófica (TgC)

R<sub>SA</sub> = Respiração Autotrófica (TgC)

### 2.3.2 Fluxo de CO<sub>2</sub> entre o oceano e a atmosfera

A soma gás carbônico, bicarbonatos e carbonatos são chamados carbono Inorgânico Dissolvido (*DIC*); 90% do DIC se encontra na forma de HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, 8% na forma de CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>, apenas 1% na forma de CO<sub>2</sub>. Somente o CO<sub>2</sub> pode interagir com a atmosfera (LÊ QUERE e METZI, 2006).

Atualmente encontra-se bem estabelecido que o CO<sub>2</sub> é capturado pelos oceanos, principalmente em águas de medianas e elevadas latitudes, sendo a saída dos gases de CO<sub>2</sub> geralmente pelas baixas latitudes. A distribuição do fluxo de CO<sub>2</sub> oceano - atmosfera é controlado pela solubilidade e processos biológicos e físicos.

O CO<sub>2</sub> é mais solúvel em águas frias que em águas quentes. Quando as águas são aquecidas, o CO<sub>2</sub> é retornado à atmosfera. Esse processo ocorre principalmente na região equatorial (baixa latitude), onde o processo de *Upwelling* traz águas frias das profundezas

oceânicas sendo aquecidas e as coloca nessa zona em contato com a atmosfera. Inversamente, o efeito da solubilidade, captura  $\text{CO}_2$  a medianas latitudes onde correntes de transporte de águas superficiais de zonas tropicais, principalmente de águas oceânicas intermédias e profundas, se colocam em contato em águas de zonas de medias e elevadas latitudes. Assim, o  $\text{CO}_2$  das profundezas é equilibrado com a atmosfera em águas de temperaturas frias, a qual gera uma concentração de 5% nas profundidades oceânicas que nas superfícies oceânicas (MURNANCE et al., 1999).

A pressão parcial de  $\text{CO}_2$  em águas marinhas  $p(\text{CO}_2)$  e o fluxo de  $\text{CO}_2$  variam regionalmente e globalmente com a temperatura de águas superficiais marinhas (SST), a produção biológica e as circulações oceânicas. Numerosas expedições oceânicas conduzidas desde os 1960 fizeram medições, e agora se podem estabelecer variações estacionais em escalas regionais e globais (TAKAHASHI et al., 2002).

A diferença entre a  $p(\text{CO}_2)$  das águas superficiais oceânicas e a do ar representa a termodinâmica que dirige o potencial de transferência do gás ( $\text{CO}_2$ ) através da superfície marinha.

A direção da transferência líquida de gás é governada pelo diferencial de  $p(\text{CO}_2)$ , sendo que a magnitude do fluxo líquido do  $\text{CO}_2$  oceano-atmosfera pode ser expressa como produto entre a diferença de  $p(\text{CO}_2)$  e a velocidade de transferência do gás, a qual pode ser parametrizada em função da velocidade do vento.

Assim, então os valores do fluxo dependem dos registros de ventos e a formulação para a velocidade do vento depende da velocidade de transferência do gás.

A variação sazonal e geográfica do  $p(\text{CO}_2)$  das águas da superfície marinha é maior que a  $p(\text{CO}_2)$  atmosférica e, como consequência, a direção e magnitude do fluxo oceano-atmosfera de transferência do  $\text{CO}_2$  são reguladas mediante o  $p(\text{CO}_2)$  oceânico. A  $p(\text{CO}_2)$  nas águas superficiais oceânicas varia nas estações do ano e geograficamente sobre uma ampla faixa, entre os 150  $\mu\text{atm}$  e 550  $\mu\text{atm}$ , que se situam 60% acima e abaixo, respectivamente, da  $p(\text{CO}_2)$  média atmosférica de aproximadamente 360  $\mu\text{atm}$ , no ano 2000 (TAKAHASHI et al., 2002).

A  $p(\text{CO}_2)$  nas águas marinhas misturadas que trocam o  $\text{CO}_2$  diretamente com a atmosfera é afetada por mudanças sazonais de temperatura, alcalinidade e concentração total de  $\text{CO}_2$ . As temperaturas são reguladas pelos processos físicos (energia solar, intercâmbios de calor oceano-atmosfera, espessura das camadas de mistura) e a concentração de  $\text{CO}_2$  e a alcalinidade são reguladas pelos processos biológicos (fotossíntese, respiração e calcificação) e pelo *upwelling* de águas sub-superficiais enriquecidas com  $\text{CO}_2$  respirado e nutrientes.

### 2.3.2.1 Distribuição de $p(\text{CO}_2)$ das águas superficiais

As figuras 2.17 e 2.18 mostram as áreas de baixa pressão parcial de  $\text{CO}_2$  ( $p(\text{CO}_2)$ ) que são encontradas em elevadas latitudes (cores azul e roxo) no oceano sul durante o verão austral, os oceanos subárticos e atlântico norte durante o verão norte (agosto), essas áreas representam um intenso sorvedouro de  $\text{CO}_2$  atmosférico, a qual é atribuída à fotossínteses a utilização de  $\text{CO}_2$  (TAKAHASHI, 2002).

Uma extensa área de  $p(\text{CO}_2)$  (cor azul-celeste) nas médias latitudes do pacífico norte e atlântico norte durante o inverno (fevereiro) é devida principalmente ao resfriamento de águas quentes e, assim, direcionada até elevadas latitudes. Uma similar característica é encontrada nas médias latitudes dos oceanos do hemisfério sul (agosto).

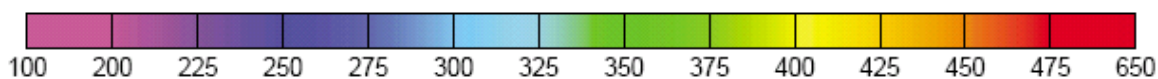
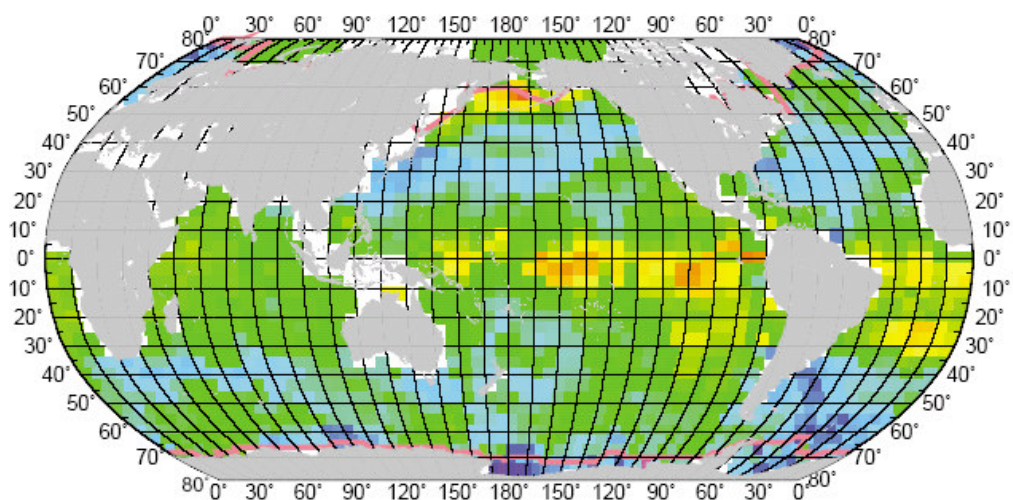


Figura 2.17 - Distribuição de  $p(\text{CO}_2)$  de águas superficiais para fevereiro de 1995 (uatm) (TAKAHASHI, 2002).

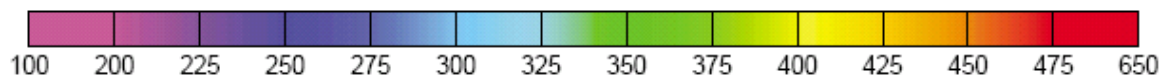
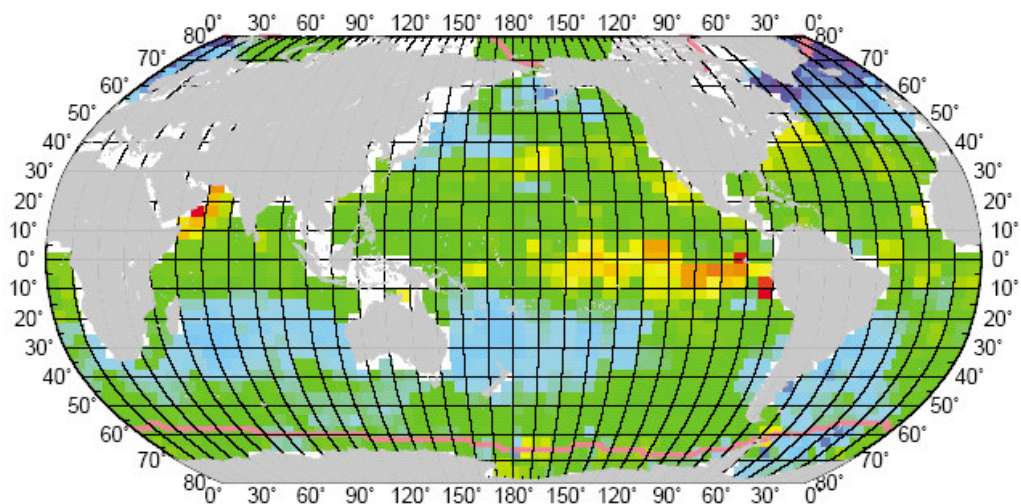


Figura 2.18 - Distribuição de  $p(\text{CO}_2)$  de águas superficiais para agosto de 1995 (uatm) (TAKAHASHI, 2002).

Um elevado valor de pressões parciais de  $\text{CO}_2$  ( $p(\text{CO}_2)$ ) (verde, amarelo e vermelho) é observado no Pacífico equatorial devido ao *upwelling* rico em  $\text{CO}_2$  ao longo do equador e advecção de águas ricas em  $\text{CO}_2$  de costas americanas do sul (FEELY et al, 1999). Os valores das pressões parciais de  $\text{CO}_2$  ( $p(\text{CO}_2)$ ) na zona tropical do Pacífico diminui de este a oeste como resultado de utilização biológica do  $\text{CO}_2$ , *upwelling* reduzido e perda de  $\text{CO}_2$  ao ar por interação do oceano e a atmosfera.

Elevados valores de  $p(\text{CO}_2)$  são observados no Pacífico subártico nordeste durante o inverno norte (fevereiro) e mares de Arábia durante verão norte (agosto).

### 2.3.2.2 Modelagem do Fluxo de $\text{CO}_2$ Oceano atmosfera

O fluxo líquido de  $\text{CO}_2$  pode ser estimado mediante a seguinte equação:

$$F = k * \alpha * (\Delta p(\text{CO}_2))_{\text{oceano atmosfera}} \quad 2.19$$

sendo:

$k =$  Coeficiente de velocidade de transferência do  $\text{CO}_2$  ( $\text{cm.hr}^{-1}$ )

$\alpha =$  Solubilidade do  $\text{CO}_2$  com a água marinha ( $\text{moles. atm}^{-1}$ ) (WEISS, 1974)

$\Delta p(\text{CO}_2) =$  Diferencial de  $p(\text{CO}_2)$  do oceano e da atmosfera ( $\text{atm.cm}^{-1}$ )

A  $\Delta p(\text{CO}_2)$  é obtido usando valores mensais de  $p(\text{CO}_2)$  das águas superficiais e  $p(\text{CO}_2)$  atmosférico. A pressão barométrica e a pressão de equilíbrio do vapor de água a uma temperatura e salinidade são utilizadas para calcular o  $p(\text{CO}_2)$

$$p(\text{CO}_2)_{\text{air}} = (\text{CO}_2 \text{conc})_{\text{air}} (p_b - p_w) \quad 2.20$$



Sendo:

$p(CO_2)$  = Pressão parcial do  $CO_2$  ( $\square atm.cm^{-1}$ )

$(CO_2 conc)_{air}$  = Concentração de  $CO_2$  no ar ( $mol.cm^{-1}$ )

$p_b$  = Pressão barométrica ( $\square atm.mol^{-1}$ )

$p_w$  = Pressão do vapor d'água ( $\square atm.mol^{-1}$ )

## 2.4 EMISSÕES DE $CO_2$ PELA INFLUÊNCIA ANTROPOGÊNICA

### 2.4.1 Emissões de dióxido de carbono referentes à queima de combustíveis fósseis e a consequência na energia mundial

O setor energético é altamente dominado pela queima direta de combustíveis fósseis com oxigênio do ar. O processo carrega uma grande fonte de  $CO_2$ , como subproduto da combustão (ver equação 2.21). Em combustão completa, todo o carbono pode ser convertido em  $CO_2$  (CARVALHO et al., 2007).



O setor energético é responsável por aproximadamente 80% da energia relacionada a emissões de dióxido de carbono. Essa percentagem é significativamente variável, de acordo com a estrutura energética nacional.

Para uma estabilidade econômica e o desenvolvimento requerem-se energia, por isso a utilização de energia no mundo dobrou entre 1971 e 2004, com base nos combustíveis fósseis (figura 2.19).

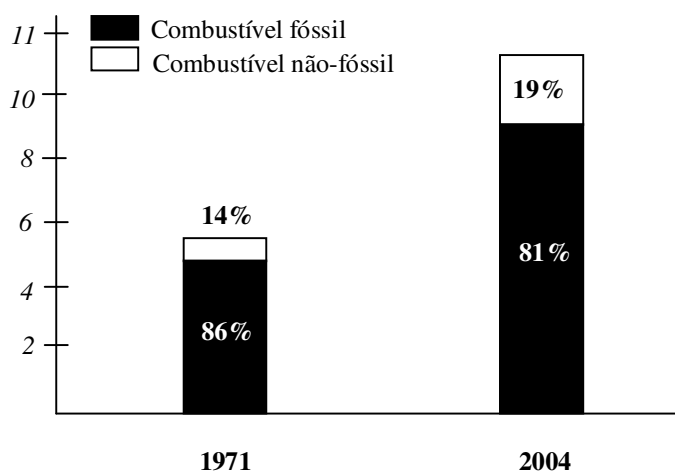


Figura 2.19 - Fonte de energia primária mundial em Gtn. óleo equivalente. (QUADRELLI et al., 2007)

Atualmente há uma maior dependência sobre o uso de energia dos combustíveis fósseis, embora o uso da energia não fóssil tenha incrementado. A contribuição de CO<sub>2</sub> devida a cada combustível é muito variável, sendo que o carvão representa um quarto (25%) das fontes de energia total. Ele causa 40% das emissões globais de CO<sub>2</sub> devido ao elevado conteúdo de carbono por unidade de energia liberada. Comparado com o gás, o carvão é cerca de duas vezes mais poluente (figura 2.20).

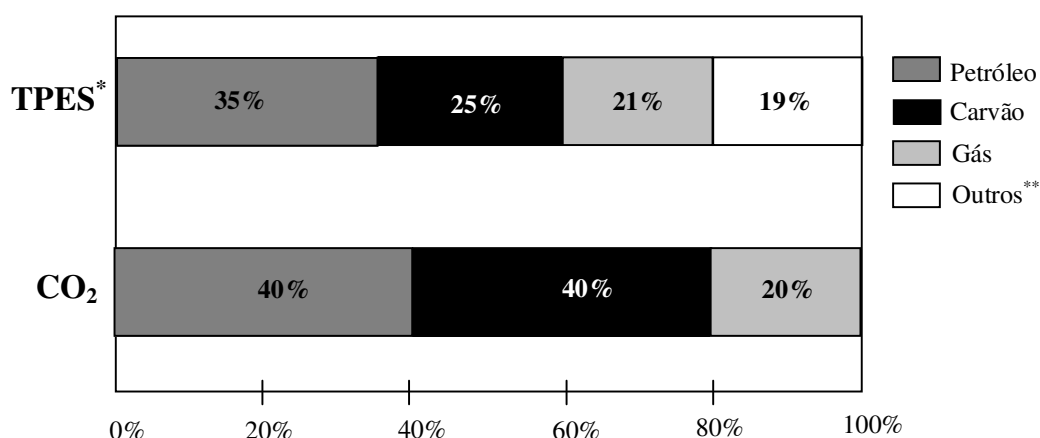


Figura 2.20 - Fontes de energia primária mundial. Percentagem de combustível utilizado (acima), percentagem de emissões por combustível utilizado (embaixo). (modificado de QUADRELLI et al., 2007)

Há uma projeção de incremento nas emissões mundiais de dióxido de carbono de 26,9 bilhões de toneladas métricas no ano 2004 a 33,9 bilhões de toneladas métricas para o ano 2015, e 42,9 bilhões de toneladas métricas para o ano 2030 (IEO, 2007). O aumento das emissões de dióxido de carbono foi corroborado pelos dados obtidos pela Agência Internacional de Energia (IEA) com relação ao crescimento observado nas décadas passadas.

Destacaram-se mudanças de taxas nas emissões passadas nas maiores regiões do mundo. Isso se deve a grupos de países com economias em transição, seguido de rápida deterioração na produtividade industrial subsequente ao colapso do centralismo de suas economias. Perto de 2/3 das emissões mundiais no ano 2005 foram originadas por 10 países (figura 2.9), sendo a grande maioria proveniente dos Estados Unidos e da China.

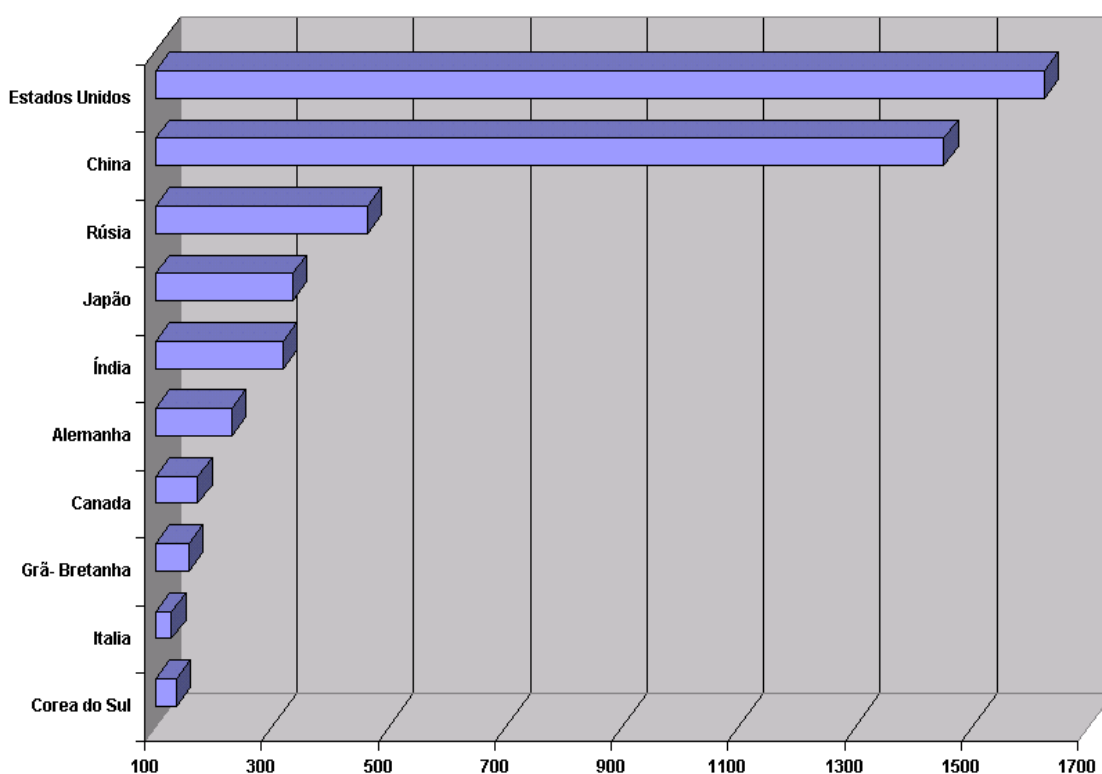


Figura 2.21 – 10 Países com maiores emissões de dióxido de carbono no ano 2005 em TgC. (Energy Information Administration – Report Energy Information Outlook, 2007)

No passado, as emissões dobraram com os países industrializados. Mais recentemente, países em desenvolvimento, principalmente da Ásia e, em particular, a Índia, incrementaram o desenvolvimento de suas economias muito mais rápido entre os anos 1992 e 2004. Na figura 2.21 encontram-se incluídas nações com diferentes estruturas econômicas mais fortemente vinculadas com as emissões de dióxido de carbono.

No ano de 2005, os Estados Unidos, a China, a Rússia, o Japão, e a Índia, os cinco primeiros emissores de CO<sub>2</sub>, produziram o 54% de dióxido de carbono, com 46% da população mundial (QUADRELLI, 2007).

Os Estados Unidos geraram 22% das emissões de CO<sub>2</sub> mundiais com somente um 5% da população mundial. Inversamente, a China contribui com um 18% das emissões e a Índia com um 4%, que são países conjuntamente com 40% da população mundial. Assim, os níveis de emissões por pessoa foram muito diversos, com uma faixa de 20 TgC de CO<sub>2</sub> para os Estados Unidos, 4 TgC de CO<sub>2</sub> para a China, e 1 TgC de CO<sub>2</sub> para a Índia, conforme mostra a figura 2.22.

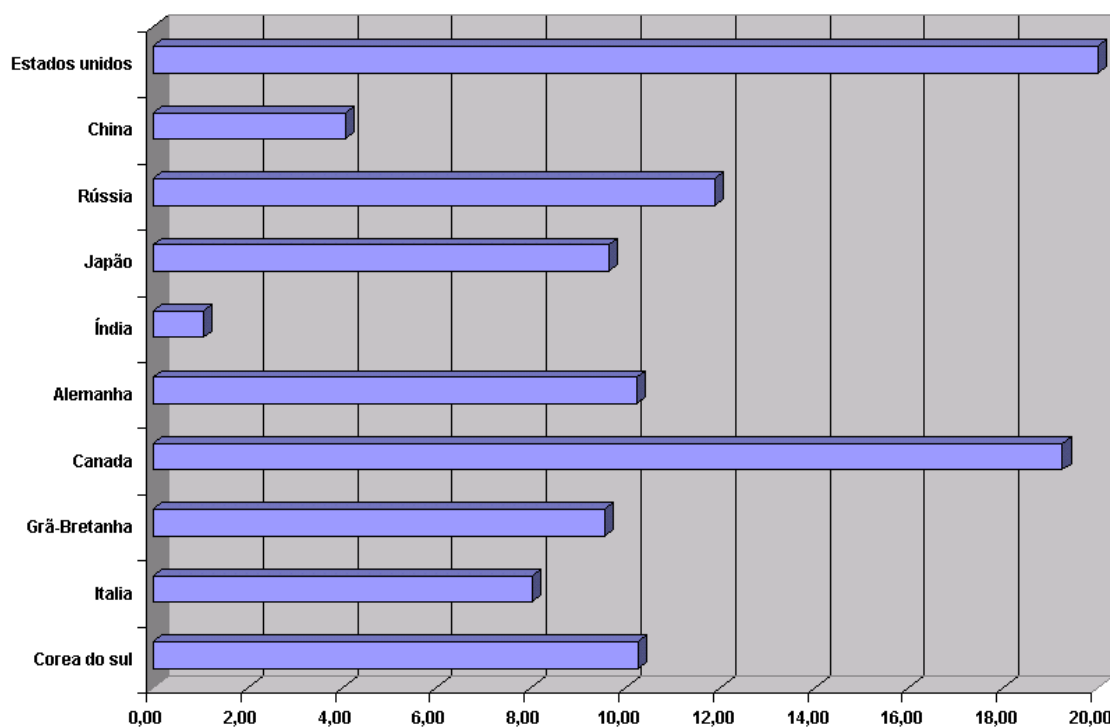


Figura 2.22 - Emissões por pessoa para os 10 maiores países consumidores de energia no mundo em TgC.

Uma maneira de olhar para o futuro do mundo dos mercados da energia está em analisar as tendências do consumo de energia na utilização final do nível setorial. Com exceção do setor de transporte, que é dominado pelo petróleo, baseado atualmente em produtos líquidos, a distribuição de energia no uso residencial, comercial e industrial varia muito de região para região, dependendo de uma combinação de fatores regionais, tais como a disponibilidade de recursos energéticos, o nível de desenvolvimento econômico, político e social e fatores demográficos.

Emissões antropogênicas de CO<sub>2</sub> são devidas principalmente ao consumo de energia de combustíveis fósseis. As estimativas de emissões globais foram feitas de 1980 a 2005 pela Agência Administração e Informação de Energia, (EIA\*). A figura 2.23 sumariza as emissões dos anos 1995 a 2005, na qual se pode observar que, em dez anos, o incremento foi de 5392,67 TgC ( $10^6$  Tn =  $10^{12}$  gr.) e que a média das emissões foi de 490.24 TgC.ano<sup>-1</sup>.

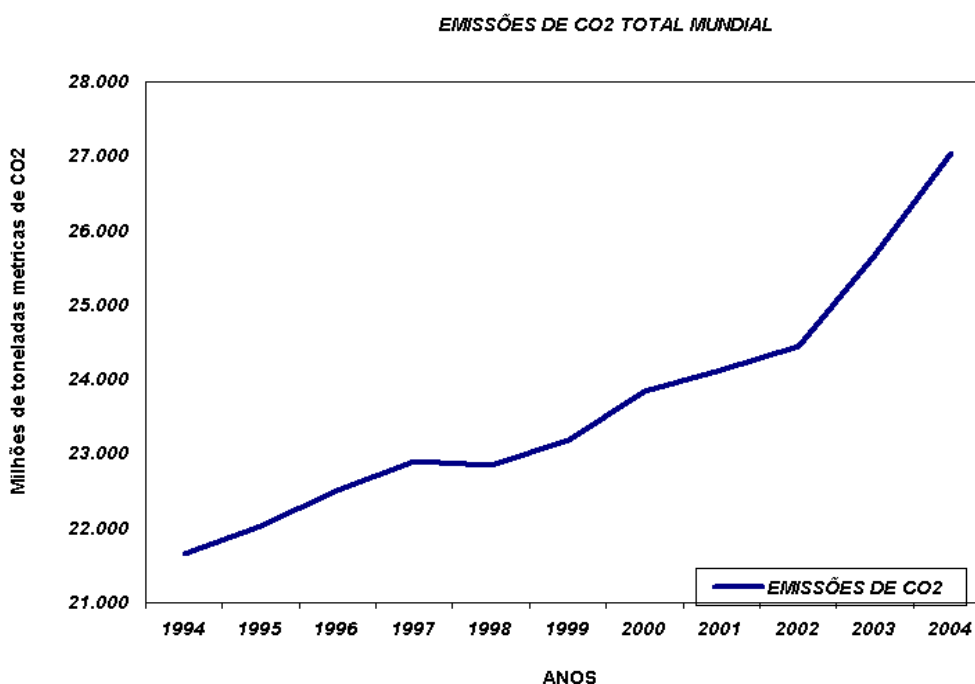


Figura 2.23 - Incremento das emissões de CO<sub>2</sub> globais. (dados da EIA\*, IEO2007)

## 2.4.2 Emissões de dióxido de carbono referente à mudança de uso de solos

Diferentes fatores e mecanismos comandam o uso de solos e as transformações de solos. Em muitos casos, o clima, a tecnologia e a economia parecem determinar a mudança de uso de solos em diferentes escalas de tempo e espaço.

A mudança de uso de solos é quase sempre associada com a mudança de florestas cobertas e está associada à mudança de reservas de carbono. Por exemplo, se uma floresta é desmatada, as reservas de carbono da biomassa do solo são removidas como produtos, eliminados pela combustão ou decomposição, em direção à atmosfera. Reservas de carbono em solos também seriam afetados, embora esses efeitos dependam dos efeitos do tratamento subsequente do solo.

Com o desmatamento, as reservas de carbono na biomassa sobre o solo podem novamente aumentar, dependendo do tipo de cobertura de solo associada com o novo uso do solo.

Houghton (1999) indicou sete tipos de mudança para as reservas de carbono:

- 1) Conversão de ecossistema natural para bosques permanentes,
- 2) Conversão de ecossistema para mudança de cultivos,
- 3) Conversão de ecossistema para pastagem,
- 4) Abandono de bosques,
- 5) Abandono de pasto,
- 6) Safra de bosques, e
- 7) Estabilidade de plantação de árvores.

Conforme o IPCC (2001), dependendo da temporada, o alcance dos fatores 6 e 7 pode ser considerado uma veloz mudança de uso de solos. Quando a floresta é desmatada para a agricultura ou pastagem (1,3), uma grande quantidade de biomassa pode ser queimada, eliminando mais rapidamente o carbono armazenado durante anos para a atmosfera.

A floresta desmatada também acelera a decomposição da madeira morta e de árvores jovens, além do carbono de subsolos orgânicos. Quando a terra úmida é arada para a conversão à agricultura e pastagem, os solos ficam expostos ao oxigênio. As reservas de carbono, as quais são resistentes à decomposição sobre condições anaeróbicas, prevalecem nos solos de terras úmidas, porém podem ser logo perdidas pela respiração anaeróbica (MINKKINEN e LAINE, 1998). Na média, os reservatórios de carbono dependem dos tipos de florestas e a extensão das terras cultivadas, as quais variam com as regiões. Alguns solos de matéria orgânica também são oxidados, para eliminação do carbono durante a mudança para campos de cultivo (DETWILER, 1986). Sob algumas condições, as mudanças de cultivos podem aumentar as reservas de carbono nas florestas e solos mediante um ciclo de crescimento para outro.

O abandono da terra de cultivos e pastagem (4,5) pode resultar em recuperação de floresta a uma velocidade determinada pelas condições locais das regiões (BROWN e LUGO, 1982).

A safra de bosques (6) quase sempre elimina carbono para a atmosfera através de efeitos indiretos de danos e destruição sobre a biomassa florestal, a qual logo se decompõe em lixo na floresta (isso pode ser minimizado com técnicas que reduzem essas consequências). A velocidade de declínio da safra de madeira depende do uso final. Se a plantação de árvores for realizada no solo que foi desmatado (7), inicialmente haveria emissões de carbono da biomassa e dos solos, mas a plantação poderia depois fixar o carbono em velocidades dependentes dos locais e das espécies. Para poder estimar o tempo da captura de carbono nas plantações florestais, ter-se-ia que considerar a velocidade de fixação para o crescimento no tempo.

## 2.5 IMPACTO NO CICLO DE CARBONO DEVIDO ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS

O ciclo de carbono é um processo que depende de variáveis físicas como a temperatura do ar, a pressão, velocidade dos ventos, índice de chuvas, etc. Essas variáveis

permaneceram quase constantes depois da última glaciação, durante milhões de anos. Registros passados dessas variáveis deram a conhecer que a mínima perturbação ou mudança pode trazer consigo conseqüências desastrosas para o ciclo de carbono e assim desestabilizar os reservatórios e suas interações. Nestes últimos anos, observou-se que o ciclo de carbono apresenta as seguintes modificações:

- O aquecimento reduz a solubilidade de CO<sub>2</sub>; adicionalmente, reduz a captura de CO<sub>2</sub> pelos oceanos.

- É provável que tenham ocorrido incrementos verticais da estratificação nos oceanos pelos aumentos de temperatura. As conseqüências incluem a redução do mecanismo de transporte do excedente de carbono das águas profundas do oceano e as mudanças na produtividade biológica.

- Em curtos intervalos de tempo, o aquecimento incrementa a velocidade de respiração heterotrófica no ecossistema terrestre, alterando os fluxos ecossistema terrestre-atmosfera.

- Mudanças de práticas de manejo têm efeitos significativos no ciclo de CO<sub>2</sub>.

- Deposição de nitrogênio antropogênico incrementa a produtividade primária líquida em algumas regiões. Porém, algum excesso de ozônio (O<sub>3</sub>) provavelmente reduz a produtividade primária líquida.



### **3 ÁREA DE ESTUDO E CONSTRUÇÃO DE BANCO DE DADOS**

#### **3.1 LOCALIZAÇÃO E DELIMITAÇÃO DO ESPAÇO E TEMPO**

O presente estudo trabalha com zonas térmicas ou climáticas do planeta, as quais foram classificadas em três grupos:

- Zona tropical,
- Zona temperada,
- Zona polar.

Mediante a disponibilidade dos dados das diferentes estações de medição, foram utilizados dados medidos durante 11 anos, de janeiro de 1995 a dezembro de 2005. Os diferentes climas que essas zonas apresentam e a localização é descrita a seguir.

##### **3.1.1 Zonas Tropicais**

Essas zonas se localizam entre os Trópicos de Câncer e de Capricórnio, aproximadamente nas latitudes 23,5 °N e 23,5 °S, respectivamente. Suas condições ambientais são estáveis; apresenta um estado de equilíbrio caracterizado pela maior diversidade de organismos. São zonas térmicas que estão presentes tanto no hemisfério norte como no hemisfério sul (ver Figura 3.1). Nessa região o sol é intenso durante todo o ano.

Sua temperatura máxima é registrada em verão com 27<sup>o</sup> C em zonas secas, e a temperatura mínima registrada em inverno com 24<sup>o</sup>C em zonas úmidas. A precipitação média é de 2200 mm (MALHI, 1999).

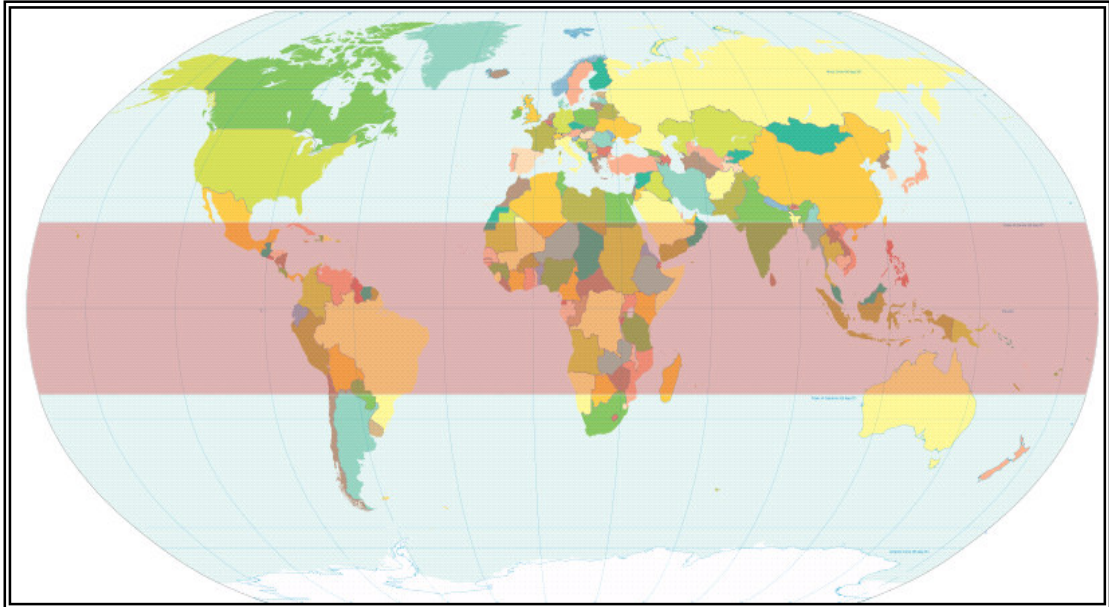


Figura 3.1 – Mapa mundial com a zona Tropical “linha vermelha” (disponível na página web: [www.commonswikimedia.org](http://www.commonswikimedia.org) ).

### 3.1.1.1 O clima das zonas tropicais

O clima das zonas tropicais é caracterizado por temperaturas elevadas todos os meses do ano. Esses climas podem subdividir-se da seguinte maneira:

- **Tropical de floresta** ou *equatorial úmido*: em todos os doze meses há precipitação de pelo menos 60 mm (MALHI, 1999). Esses climas são típicos de regiões próximas ao equador, e não têm estações do ano. Em alguns lugares esse clima tem a mesma umidade durante todo o ano, como acontece na Colômbia, mas na maior parte dos casos pode haver variação de chuvas.
- **Tropical de monções**: Este clima resulta dos ventos de monções que mudam de direção de acordo com as estações. Este clima tem um mês mais seco, com menos de 60 mm de chuva (MALHI, 1999).
- **Clima tropical úmido e seco ou de savanas**: Esse clima tem uma estação seca intensa, com o mês mais seco tendo precipitações menores que 60 mm (MALHI,

1999). Na maioria dos lugares que tem clima tropical úmido e seco, contudo, a estação seca ocorre durante a época de sol mais baixo e dias mais curtos.

- **Clima tropical de altitude:** Tem o mesmo regime pluviométrico do clima tropical de savana, mais o regime de temperaturas é igual ao do clima subtropical, podendo ter ocasionalmente geladas, e muito raramente também precipitações de neve.

### 3.1.2 Zonas Temperadas

As zonas térmicas chamadas zonas temperadas se localizam na zona compreendida entre trópicos e círculos polares em ambos hemisférios ( $23,5^{\circ}\text{N}$  até  $65^{\circ}\text{N}$  e  $23,5^{\circ}\text{S}$  até  $65^{\circ}\text{S}$ ) apresentando estações do ano bem definidas (ver Figura 3.2). A temperatura máxima registrada é de  $23^{\circ}\text{C}$  em verão e a mínima registrada é de  $5^{\circ}\text{C}$  em inverno, o índice de precipitações é de 1400 mm. A estação de crescimento é de 180 dias e os períodos de secas são entre meados de Junho e meados de Agosto (MALHI, 1999).

- **Zona Temperada Norte:** Desde o Trópico de Câncer ao Círculo Polar Ártico. Nas zonas temperadas o índice UV alcança todos os níveis máximos da escala, ao redor dos dias 21-22 de junho de cada ano. Índices de níveis "Muito Altos" ocorrem com frequência ao norte, no verão, alcançando a latitude 44 desde o início de junho ao início de julho, onde se encontram zonas bem povoadas dos Estados Unidos, o centro da Europa, Europa Oriental e noroeste da China.
- **Zona Temperada Sul:** Desde o Trópico de Capricórnio até o Círculo Polar Antártico. Nessa região se encontra a parte sul da América do Sul (Argentina, Chile, sul do Brasil, Uruguai e parte do Paraguai), região sul da África, Nova Zelândia e parte sul da Austrália. A distribuição do índice UV nas zonas temperadas do hemisfério sul se diferenciam do hemisfério norte, no ponto em que o mínimo de radiação se dá entre 21-22 de junho.

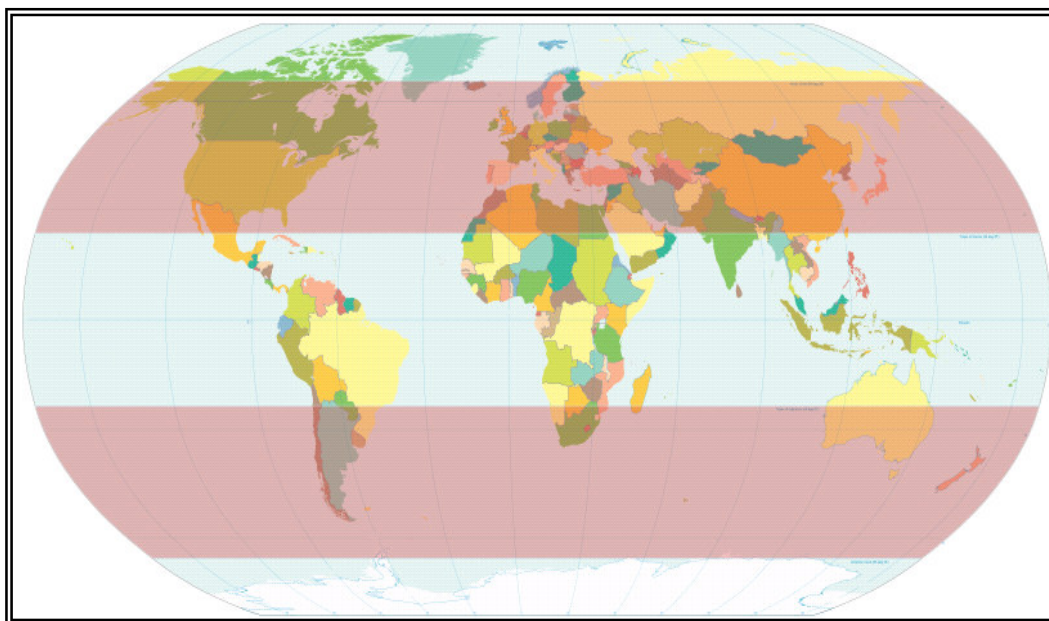


Figura 3.2 – Mapa mundial com a zona Temperada “linha vermelha”. (Disponível na página web: [http://commons.wikimedia.org/wiki/Image:World\\_map\\_temperate.svg](http://commons.wikimedia.org/wiki/Image:World_map_temperate.svg))

### 3.1.2.1 Clima nas zonas temperadas

Uma região que possui um clima temperado tem uma temperatura que varia regularmente ao longo do ano. Essas regiões possuem quatro estações bem definidas: um verão relativamente quente, um outono com temperaturas gradativamente mais baixas com o passar dos dias, um inverno frio, e uma primavera, com temperaturas gradativamente mais altas com o passar dos dias. A umidade depende da localização e condições geográficas de uma dada região.

- **Clima Temperado Mediterrâneo:** Este clima caracteriza regiões situadas entre as latitudes de 30°N e 40°N. O clima mediterrâneo é o único onde a estação fria está associada à estação das chuvas. Os invernos são caracterizados por temperaturas amenas, devido às correntes marítimas quentes. No inverno se consegue observar algum índice de precipitação, sendo que no verão a precipitação é quase nula. Os

verões são quentes e secos mais nas áreas costeiras os verões são mais frescos devido às correntes frias do oceano.

- **Subtropical Úmido:** Este clima usualmente se apresenta no interior de continentes ou nos litorais à leste de tais continentes, entre latitudes de 23° e 40° em ambos hemisférios. Ao contrário de climas mediterrâneos, a zona com um clima subtropical, possui verão úmido, devido a massas tropicais instáveis. No leste asiático, Invernos podem ser secos e mais frios que outros lugares com latitudes similares, dado à alta pressão atmosférica da Sibéria.
- **Clima Temperado Marítimo:** Os climas temperados marítimos situam-se entre as latitudes de 45° e 55° em ambos hemisférios. Estão normalmente, ao lado dos climas mediterrânicos. Os verões são frescos e nublados. Os invernos são moderados, ao contrário de outros climas a uma latitude semelhante.
- **Temperado Subártico:** Tal clima se apresenta mais perto dos pólos, e está limitado a os estreitos litorais da parte ocidental dos continentes, ou em ilhas de tais litorais, especialmente no Hemisfério Norte.
- **Clima Temperado Continental:** Este clima é próprio das regiões do interior dos continentes em latitudes superiores a 45°. Caracteriza-se por uma relativa escassez de chuvas, sobretudo no inverno, devido à distância que as separa das áreas de influencia marítima, e por uma notável amplitude térmica estacional, com as temperaturas de verão bastante altas que contrastam fortemente com os invernos, muito frios.

### 3.1.3 Zonas Polares

Sua localização fica entre 65° – 90°N (~65°\_90°S) e constituem-se nas regiões compreendidas ao Norte do Círculo Polar Ártico, e ao Sul do Círculo Polar Antártico (ver Figura 3.3).

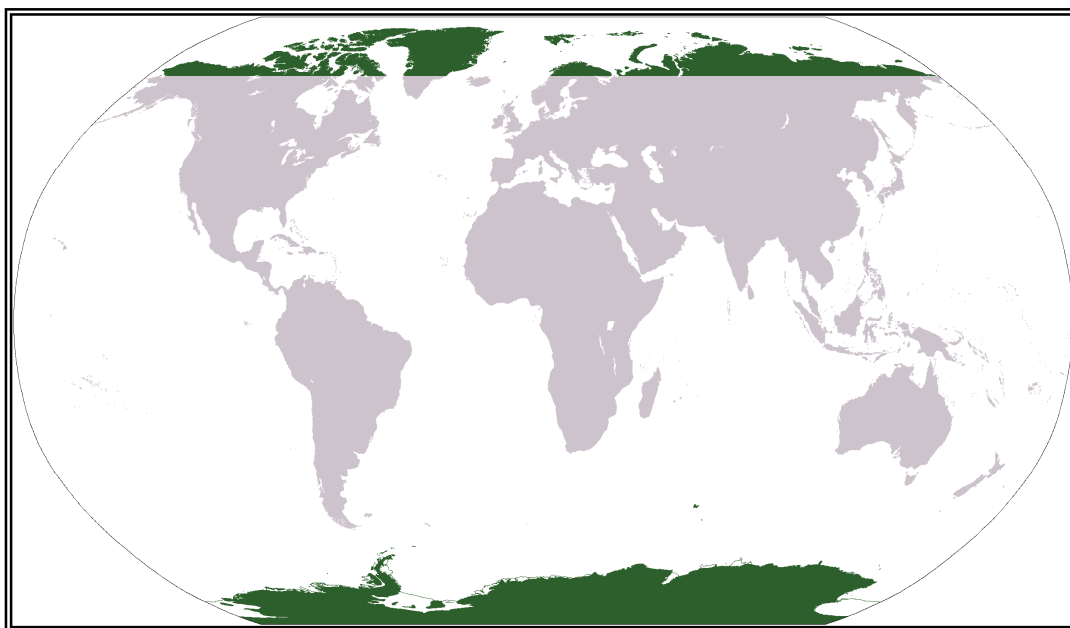


Figura 3.3 – Mapa indicando as regiões polares do mundo: Ártica (acima), Antártica (embaixo), "cor verde"  
(Disponível na página web: <http://pt.wikipedia.org/wiki/Imagem:LocationPolarRegions.png>)

### 3.1.3.1 O clima polar (ou clima glacial)

Ocorre nas costas Euro asianas do Ártico, na Groelândia, ao norte do Canadá, no Alasca e na Antártica.

As temperaturas médias são muito baixas e ficam em torno de  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ . No verão chegam aos  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$  até os  $17^{\circ}\text{C}$  e no inverno podem alcançar os  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  (MALHI, 1999). São regiões de ventos intensos e que ficam cobertas de neve a maior parte do ano. No inverno há dias em que o sol não nasce, e certos dias no verão ele não se põe. Também é um clima que apresenta altas amplitudes térmicas. O índice pluviométrico é muito baixo, abaixo de 200 mm anuais, que se produzem em forma de neve e ocorrem principalmente no verão.

## 3.2 OBTENÇÃO DO BANCO DE DADOS.

### 3.2.1 Fluxos de dióxido de carbono entre os reservatórios

Para ter o conhecimento de quais são os fluxos entre os reservatórios se aplica os princípios de conservação de massa apresentados no Capítulo 2, identificando onde se realiza o seqüestro e a armazenagem de dióxido de carbono atmosférico.

Para a realização do balanço de massa e da modelagem mediante as séries temporais do seqüestro e armazenamento de dióxido de carbono atmosférico, é preciso dispor de dados de todas as interações dos reservatórios que influenciam o ciclo de carbono, isto é, dados de emissões antropogênicas (combustão de combustíveis fósseis e mudanças no uso de solos), fluxos de CO<sub>2</sub> entre o ecossistema terrestre \_ atmosfera e, fluxos de CO<sub>2</sub> entre o oceano \_ atmosfera, assim como também concentrações de CO<sub>2</sub> atmosférico.

Para o dito fim, o estudo foi realizado com os dados obtidos das diferentes estações de registro de dióxido de carbono em nível mundial, como: EIA\* (*Energy Information Administration*), FAO (*Food and Agriculture organization*), CDIAC (*Carbon Dioxide Information Analysis Center*), *Lamont-Doherty Earth Observatory of Columbia University* e a SIO (*Scripps Institution Of Oceanography*).

### 3.2.2 Emissões de CO<sub>2</sub>

Como comentado no Capítulo 2, as emissões de CO<sub>2</sub> são associadas a diferentes setores. Os mais representativos são: a queima de combustíveis fósseis e as mudanças de uso de solos.

Para poder realizar um modelo baseado em dados reais, é necessário pesquisar ditos dados de estações em função das zonas delimitadas.

Primeiramente se procurou dados de emissões de queima de combustíveis fósseis, em nível mundial, de estações como a EIA (*Energy International Administration*), selecionando-se os anos para o estudo, de 1995 até 2005 (ver Tabela 3.1).

Tabela 3.1 - Emissões de CO<sub>2</sub> da queima de combustíveis fósseis as zonas climáticas. (Tg/ano)

| Anos | Boreal | Temperada | Tropical | Pólo Sul | Global |
|------|--------|-----------|----------|----------|--------|
| 1995 | 611    | 4634      | 764      | 0        | 6009   |
| 1996 | 611    | 4742      | 788      | 0        | 6140   |
| 1997 | 587    | 4844      | 817      | 0        | 6248   |
| 1998 | 589    | 4812      | 831      | 0        | 6231   |
| 1999 | 612    | 4855      | 858      | 0        | 6325   |
| 2000 | 619    | 4989      | 896      | 0        | 6504   |
| 2001 | 614    | 5036      | 928      | 0        | 6578   |
| 2002 | 616    | 5096      | 956      | 0        | 6668   |
| 2003 | 645    | 5376      | 978      | 0        | 6999   |
| 2004 | 667    | 5689      | 1020     | 0        | 7376   |
| 2005 | 694    | 6016      | 1072     | 0        | 7782   |

Fonte: EIA\*, REPORT ENERGY INFORMATION OUTLOOK 2006.

A distribuição de fontes de carbono na superfície terrestre é também dominada pela mudança de uso de solos. Nos trópicos a velocidade de deforestação é responsável por uma grande fonte de carbono, como se amostra na Tabela 3.2.



Tabela 3.2 - Emissões de CO<sub>2</sub> oriundas da mudança de uso de solos (TgC/ano)

| Ano  | Boreal | Temperada | Tropical | Global |
|------|--------|-----------|----------|--------|
| 1995 | 48     | -70       | 2189     | 2167   |
| 1996 | 48     | -73       | 2162     | 2136   |
| 1997 | 47     | -80       | 2144     | 2111   |
| 1998 | 47     | -89       | 2162     | 2121   |
| 1999 | 47     | -95       | 2115     | 2067   |
| 2000 | 47     | -114      | 2148     | 2081   |
| 2001 | 47     | -112      | 2136     | 2203   |
| 2002 | 32     | -155      | 2138     | 2166   |
| 2003 | 49     | -190      | 2140     | 2148   |
| 2004 | 48     | -248      | 2141     | 2090   |
| 2005 | 48     | -356      | 2142     | 1983   |

Fonte: HOUGHTON, 2002.

Houghton (2001) propôs uma estimativa de medição das mudanças anuais na armazenagem de carbono terrestre que resulta do manejo deliberado da superfície terrestre, definindo que o desmatamento da floresta para a agricultura e a safra de madeira são as maiores contribuições da mudança de uso de solos.

Foram ignorados os distúrbios naturais e as influências do clima nos dados de Houghton (2001) que foram utilizados no estudo. Esses dados de emissões de uso de solos foram encontrados na CDIAC (2007), onde se obtiveram dados do ano de 1995 a 2000, sendo os outros dados extrapolados com o programa LAB FIT (*Curve Fitting Software*) utilizando os dados proporcionados por CDIAC (2007).

### 3.2.3 Fluxos entre o ecossistema terrestre e atmosfera

O fluxo entre o ecossistema terrestre e atmosfera é realizado principalmente pela atividade vegetativa em nível mundial, já que as plantas são as que executam um melhor intercâmbio temporal de CO<sub>2</sub>. Para ter dados dos fluxos de CO<sub>2</sub> do ecossistema terrestre, consideraram-se as mudanças das áreas das florestas nativas a cada cinco anos, as quais foram multiplicadas pelos fluxos de CO<sub>2</sub> da floresta representativa de cada zona do estudo (ver Capítulo 2), obtidos em laboratórios por diferentes autores.

#### 3.2.3.1 Extensão de floresta terrestre

A biomassa florestal é a maior reserva de carbono terrestre. O balanço de carbono é determinado pelo número de componentes nos processos de aquisição de carbono e da perda de ele e as pequenas mudas (desmatamento e queima). A magnitude desse processo teria conseqüências desastrosas no ciclo de dióxido de carbono.

Durante o período de estudo de 1995 até 2005 foram avaliadas as mudanças na extensão da floresta cada cinco anos com dados tomados da FAO do jornal “Situação dos bosques do mundo” para os anos 1997, 2003, 2007 os quais proporcionam dados para os anos 1995, 2000, 2005 (Tabela 3.4).

Tabela 3.3 - Estimativa de carbono nos três sítios florestais. (MgC/ha)

|                      | Tropical | Temperada | Boreal |
|----------------------|----------|-----------|--------|
| Acima do Solo        | 217      | 79        | 49     |
| Sob Solo             | 230      | 62        | 409    |
| Total do Ecossistema | 447      | 169       | 458    |

Fonte: Malhi (1999).

Tabela 3.4 - Superfície e variação da cobertura florestal. (todos os dados forem expressos em ha)

| Zona Climática         | 1995       | 2000       | 2005       |
|------------------------|------------|------------|------------|
| Boreal <sup>3</sup>    | 1372000000 | 1214983887 | 1231985753 |
| Temperada <sup>3</sup> | 1038000000 | 1040851113 | 1064510247 |
| Tropical <sup>3</sup>  | 1755000000 | 1830363000 | 1685526000 |
| Polar <sup>3</sup>     | 0          | 0          | 0          |
| Global <sup>3</sup>    | 4165000000 | 4086198000 | 3982022000 |

Fonte: “Situação das árvores no mundo para o ano 1995”, FAO (1997); “Situação das arvores no mundo para o ano 2000”, FAO (2003); “Situação das árvores no mundo para o ano 2005”, FAO (2007).

### 3.2.3.2 Dinâmicas de CO<sub>2</sub>

Muitas propriedades das dinâmicas do dióxido de carbono em cada zona climática são devidas ao clima e ao intercâmbio de CO<sub>2</sub> pela floresta. O mecanismo foi descrito no Capítulo 2; neste capítulo serão avaliados os dados e as tendências.

O intercâmbio líquido do ecossistema (*NEE*) para a zona boreal é de 900000 gC ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup> (LINDROCK, 1998; SWEDEN et al., 1996), para a zona tropical de 1000000 gC ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup> (GRACE, 1995b), na zona temperada -2900000 gC ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup> (GOULDEN, 1996<sup>a</sup>; VALENTINE, 1996; HOLLINGER, 1999), sendo que os dados de *NEE* para o presente trabalho são constantes e que a variação do fluxo de CO<sub>2</sub> estará em função da mudança da extensão florestal durante os anos determinados do estudo, (ver equação 3.1) sendo esses dados de muita importância para poder determinar o fluxo anual de CO<sub>2</sub>.

$$f_{ECO-ATM} = NEE_{Zona} \cdot A_{Florestal}^{Ano} \quad 3.1$$

Sendo:

$f_{ECO-ATM}$  = Fluxo de dióxido de carbono entre o ecossistema terrestre e a atmosfera (TgC)

$NEE_{Zona}$  = Troca líquida do ecossistema terrestre (TgC há<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>)

$A_{Florestal}^{Ano}$  = Área da floresta para cada zona e cada ano em estudo (ha ano<sup>-1</sup>)

Apresentam-se na Tabela 3.5 os valores de fluxo de CO<sub>2</sub> em TgC, nas quais os sinais negativos representam captura de CO<sub>2</sub> e os sinais positivos representam emissões de CO<sub>2</sub>.

Tabela 3.5 - Fluxo de dióxido de carbono entre o ecossistema terrestre e atmosfera (TgC).

| Ano  | Boreal | Temperada | Tropical |
|------|--------|-----------|----------|
| 1995 | 1235   | -3010     | -1755    |
| 2000 | 1093   | -3018     | -1830    |
| 2005 | 1109   | -3085     | -1675    |

Fonte: Propria utilizando a equação 3.1.

### 3.2.4 Fluxo entre o oceano e a atmosfera

O fluxo entre o oceano e a atmosfera seqüestra dióxido de carbono durante todos os meses do ano, em função da temperatura do ar e a velocidade do vento.

Durante muito tempo, as estimativas do oceano como sorvedouros de dióxido de carbono não estiveram baseadas nas medições diretas nos inventários de Carbono Inorgânico Dissolvido (*DIC*) (SABINE, 2004). Reconhecendo a necessidade de medir a captura do oceano, transporte e capacidade de CO<sub>2</sub>. Estudos como os de Takahashi (2002) analisaram dados regionais e globais de dióxido de carbono líquido com suas respectivas velocidades de vento e as velocidades de transferências.

Os dados utilizados neste trabalho foram recolhidos de Takahashi (2002) e analisados pela Lamont-Doherty Earth Observatory of Columbia University. Aqui, foram re-organizados 940 dados do ano 1995 e do ano 2000 de acordo com as zonas pré-determinadas do estudo; o ano 2005 foi extrapolado empregado o *LAB FIT Curve Fitting Software*.

Os dados coletados sobre a superfície marina ao redor do planeta dependem do vento e do coeficiente de transferência do gás. Eles foram usados para obter fluxos líquidos mensais de CO<sub>2</sub>. A velocidade do vento a 10 m até 40 m foi medida por Takahashi (2002). Ele obteve o *Sc* igual a 0,995 (tirado da DEEP SEA RESEARCH, PART II pp 1601-1622) com o qual se faz uma correlação para achar o coeficiente de transferência *K*, para o ano 1995, sendo obtido:

$$K^* = 0,39 * (V_{vento}) . Sqrt(Sc / 660) \quad 3.2$$

e para o ano 2000 é:

$$K^* = 0,19.V_{vento} - 0,333.(V_{vento})^2 + 0,078.(V_{vento})^3 . Sqrt(Sc / 660) \quad 3.3$$

Sendo:

*K* = Coeficiente de transferência do dióxido de carbono (cm.hr<sup>-1</sup>)

*V<sub>vento</sub>* = Velocidade do vento (cm.hr<sup>-1</sup>)

*Sc* = Fator do vento correlacionado

Com esses dados e as medições do diferencial de pressões (TAKAHASHI, 2002) obteve o fluxo de dióxido de carbono para o oceano por latitudes (com a equação 2.19). Esses dados foram reorganizados para as zonas térmicas delimitadas pelo estudo, as quais são apresentadas na tabela 3.6.

Tabela 3.6 - Fluxo de dióxido de carbono oceano-atmosfera (TgC/ano)

| Ano  | Boreal <sup>4</sup> | Temperada <sup>4</sup> | Tropical <sup>4</sup> | Polar <sup>4</sup> | Global |
|------|---------------------|------------------------|-----------------------|--------------------|--------|
| 1995 | -390                | -2430                  | 1070                  | -470               | -2220  |
| 2000 | -320                | -2170                  | 1200                  | -440               | -1730  |
| 2005 | -396                | -2178                  | 1359                  | -397               | -1612  |

Fonte: Takahashi (2002).

### 3.2.5 Dados de dióxido de carbono atmosférico

Depois de um claro conhecimento do processo de carbono e suas interações, conhecer os dados de concentrações de dióxido de carbono registrados na atmosfera nas diferentes zonas do estudo é de grande importância para a modelagem.

Para este estudo utilizaram-se dados encontrados na página web da *Carbon Dioxide Information Administration Center* (CDIAC), onde a *Scripps Institution of Oceanography* (SIO) têm publicado o monitoramento ao longo do oceano pacífico a diferentes latitudes. Das oito estações que a SIO apresenta, só foram escolhidas quatro estações representativas para cada zona térmica analisando a quantidade de dados disponíveis. (ver tabela 3.7).

Tabela 3.7 – Estações de monitoramento

| Estação       | Latitude  | Longitude  | Elevação | Zona Térmica |
|---------------|-----------|------------|----------|--------------|
| Barrow Alaska | 71°19' N  | 156°36' W  | 11       | Polar        |
| Mauna Loa     | 19° 32' N | 155° 35' W | 3397     | Tropical     |
| Samoa A.      | 14°15' S  | 170°34' W  | 30       | Tropical     |
| Pólo sul      | 89°59' S  | 24°48' W   | 2810     | Polar        |

Fonte: Keeling (2001)

Foram considerados dados desde 1995 até 2005 das quatro estações de medição, nas figuras 3.4 a 3.7. Desses dados pode ser observada a variabilidade sazonal nos hemisférios norte e sul.

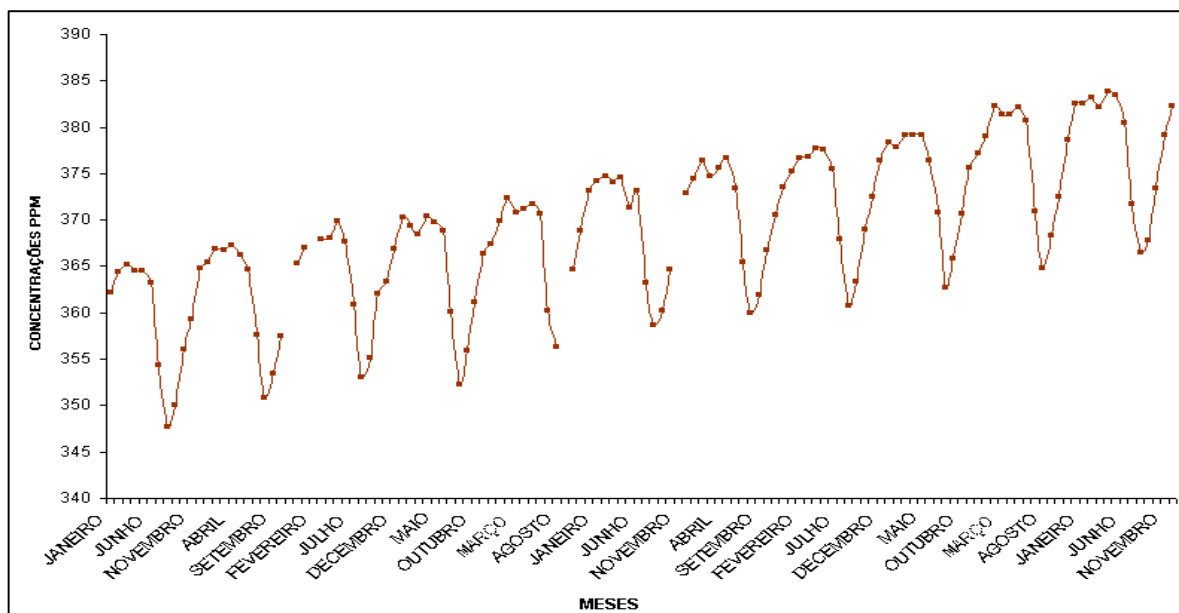


Figura 3.4 – Concentrações de CO<sub>2</sub> atmosféricos em Barrow Alasca (71 °19'N, 156 °36'W) (Hemisfério Norte)

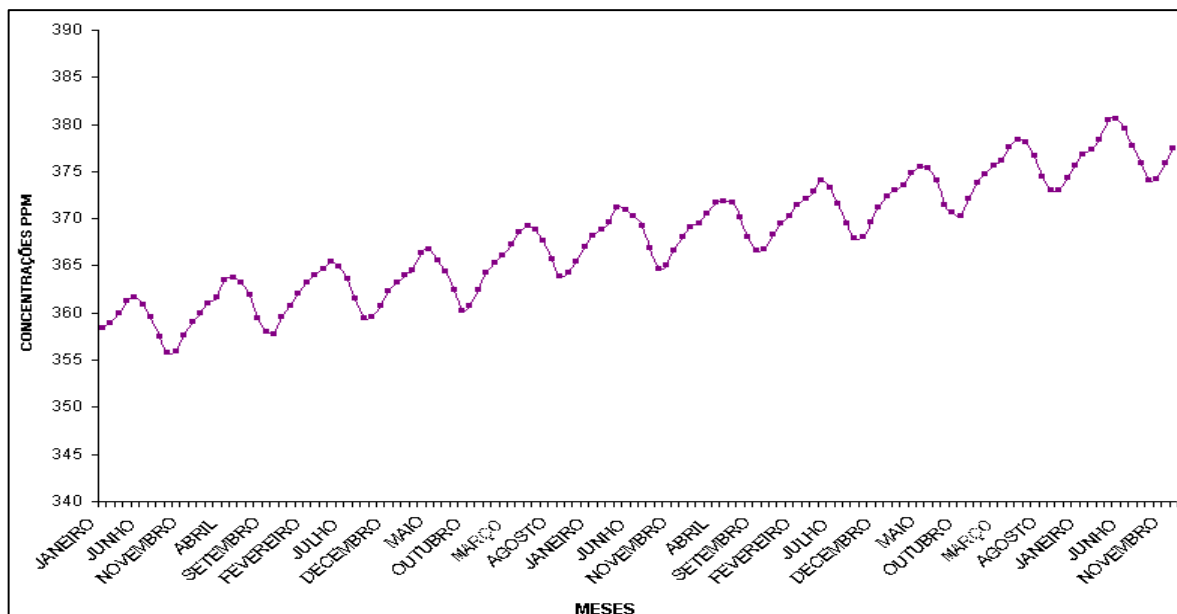


Figura 3.5 – Concentrações de CO<sub>2</sub> atmosféricos em Mauna Loa (19 °32'N, 155 °35'W) (Hemisfério Norte)

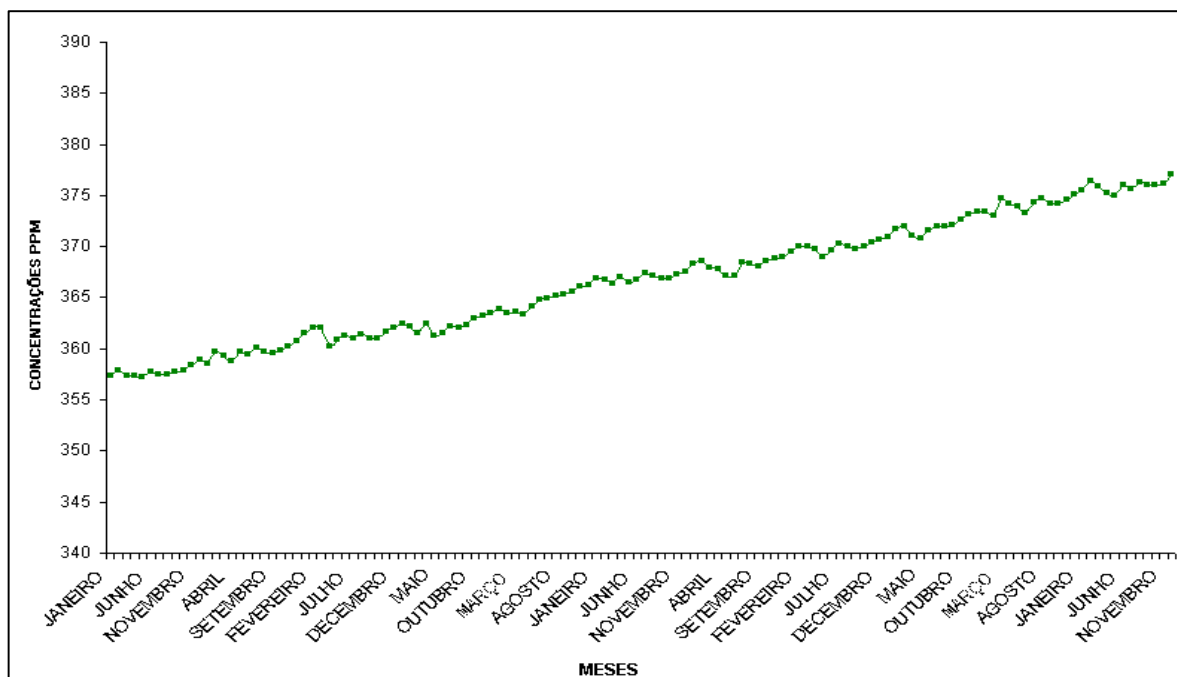


Figura 3.6 – Concentrações de CO<sub>2</sub> atmosférico em Samoa Americana (14 °15'S, 170 °34'W)(Hemisfério Sul)



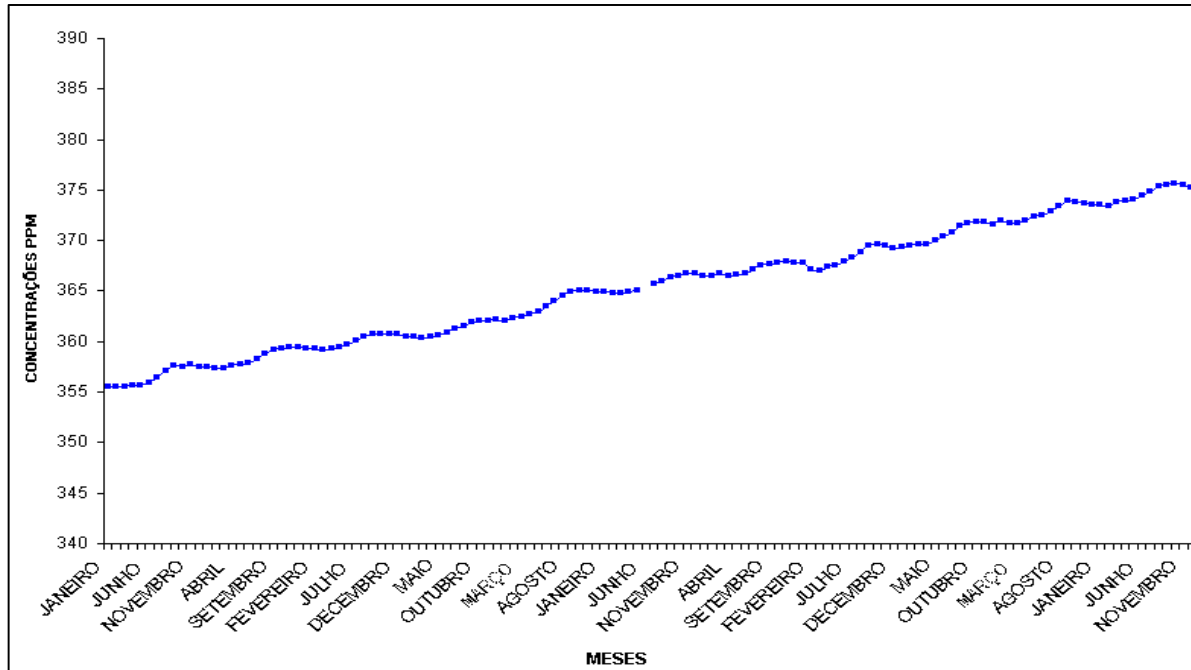


Figura 3.7 – Concentrações de CO<sub>2</sub> atmosférico em Pólo Sul (89°59'S, 24°48'W)(Hemisfério Sul)

## 4 MODELAGEM DO SEQUESTRO E ARMAZENAMENTO DE DIÓXIDO DE CARBONO ATMOSFÉRICO

### 4.1 INTRODUÇÃO

O homem sempre desejou entender a seu planeta e o mundo em geral. As imposições da sobrevivência assim o determinaram. Rodeada de elementos materiais, a primeira necessidade da humanidade foi conquistar o domínio de seu ambiente. Na impossibilidade de lidar diretamente com a complexidade do mundo, o homem tem se mostrado cada vez mais hábil na criação de modelos para a representação e solução de sua relação com esse mesmo mundo. (GOLDBARG, 2005).

Neste capítulo apresenta-se primeiro a fundamentação teórica da modelagem em que se especifica a metodologia utilizada e os conceitos das séries temporais que se ajustam mais aos dados apresentados no Capítulo 3, e a seguir os passos realizados para a modelagem. Começou-se por fazer um modelo de predição para os dados das concentrações de dióxido de carbono atmosférico obtidos em cada estação e, assim, fazer predições das concentrações de dióxido de carbono para anos futuros.

Para se obter um melhor conhecimento dos fluxos do dióxido de carbono nas diferentes zonas térmicas far-se-á um balanço de massa. Porém, como os dados reais encontrados para os fluxos dos reservatórios são somente para os anos 1995, 2000 e 2005, neste capítulo se realizou uma modelagem para cada fluxo entre os reservatórios. A modelagem foi feita para os dados reais a cada cinco anos e foram feitas interpolações para estimar os dados restantes dos outros anos e, assim, fazer uma análise mediante um balanço de massa entre os fluxos ecossistema terrestre-atmosférico, oceânico- atmosférico e as emissões de dióxido de carbono obtidas no Capítulo 3.

O balanço de massa determinará o armazenamento de dióxido de carbono na atmosfera para cada zona térmica em cada ano durante os anos de estudo (1995-2005) para depois comparar com os dados reais.

## 4.2 FUNDAMENTO TEÓRICO

O processo de busca de uma visão bem estruturada da realidade é fundamentalmente um fenômeno de modelagem. Modelo como representação substitutiva da realidade distingue-se do verbo de modelar o que significa a simulação da realidade, que é mais ampla que a simples representação (GOLDBERG, 2005).

Os modelos necessitam ser livres de pequenos detalhes onerosos. A aplicação de simplificação às vezes é básica (ver figura 4.1). O processo de tradução contextual deve ser capaz de identificar os elementos fundamentais da questão e transportá-los para uma representação capaz de ser manipulada por artifícios e métodos de solução.

No processo de representação substitutiva (modelo de abstração), muitos são os fatores a considerar. Na verdade, é praticamente impossível levar em conta todos os elementos intervenientes em um problema real. Como o objetivo básico é alcançar uma compreensão aceitável da realidade, os modelos tais que capturem apenas os elementos fundamentais no processo de tradução, simplificando ao máximo o método de solução a ser utilizado para evitar, por exemplo, que o modelo seja tão simples que não possa representar adequadamente o sistema real, nem tão complicado que impeça destacar as relações básicas (SIXTO RIO, 1996).

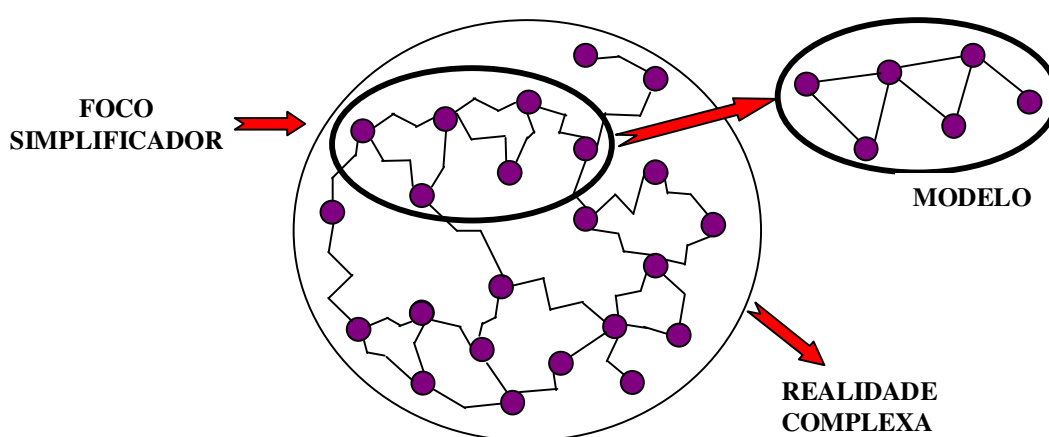


Figura 4.1 – Esquema do processo de tradução (GOLDBERG, 2005).

### 4.2.1 Análise de séries temporais

As séries temporais são utilizadas para uma seqüência de observações estatísticas tomadas num intervalo de tempo regular. Assim, as séries temporais são assumidas como a inter-relação das amostras de uma série temporal entre um número de seqüências estatísticas e o tempo.

Obtida uma serie temporal de dados desde  $Z(t_1)$  até  $Z(t_n)$ , observadas num tempo  $t_1$  até  $t_n$ , o objetivo do interesse será:

1. Investigar o mecanismo gerador da série temporal, por exemplo, analisando uma série de alturas de ondas. Pode-se desejar saber como estas ondas foram geradas.
2. Fazer previsões de valores futuros da série. Estas podem ser de curto prazo ou de longo prazo.
3. Descrever apenas o comportamento da série, neste caso, pela construção de gráficos, a verificação da existência de tendências, ciclos e variações sazonais.
4. Procurar periodicidades relevantes nos dados. Neste caso, a análise espectral pode ser de grande utilidade.

Há basicamente dois enfoques usados na análise de séries temporais. Em ambos, o objetivo é construir modelos para as séries, com propósitos determinados. Os modelos usualmente mais encontrados são os conduzidos no domínio de freqüências e os modelos propostos são os modelos *não paramétricos*.

No domínio de freqüência tem-se a análise espectral, que tem inúmeras aplicações em ciências físicas e engenharia, e que consiste em decompor a série dada em componentes de freqüência, na qual a exigência do espectro é a característica fundamental.

#### 4.2.1.1 Tendência e Suavização

Considerando o modelo de curva de crescimento na qual a função dos dados da série  $Z(t_1)$  até  $Z(t_n)$  é representada por  $f(t)$ , composta por a expressão polinomial de baixo grau dado pela equação 4.1:

$$T(t) = \beta_0 + \beta_1(t) + \dots + \beta_m(t^m) \quad 4.1$$

de modo que  $T(t)$  é a componente que se move lenta, suave, e progressivamente no tempo, representando a *tendência polinomial determinística* de grau  $m$  com  $m > 0$ , e uma equação de polinômio harmônico, ou seja, uma combinação linear de senos e co-senos com coeficientes constantes (ver equação 4.2):

$$S(t) = \sum_{n=1}^p \{ \alpha_n \text{Cos}(\lambda_n t + \beta \text{Sen} \lambda_n t) \} \quad 4.2$$

de modo que  $S(t)$  representará as *flutuações cíclicas e as variações sazonais*. Ou seja, a função  $f(t)$  é da forma pela equação 4.3:

$$f(t) = T(t) + S(T) \quad 4.3$$

Sendo:

$T(t)$  = Tendência

$\beta_0, \dots, \beta_n$  = Constantes

$t$  = Tempo

$\lambda_n$  = Freqüência

$S(t)$  = Sazonalidade

O interesse principal em considerar um modelo do tipo da equação 4.3 é que a especificação de  $S(t)$  depende da especificação de  $T(t)$ . Por isso não se pode isolar uma das componentes sem isolar a outra.

### **a) Tendência**

Inicialmente considera-se que a componente sazonal não esteja presente, assim será considerada somente a tendência. Há vários métodos para estimar  $T(t)$ ; os mais utilizados são:

1. Ajustar em função do tempo, como um polinômio, uma exponencial ou outra função suave do tempo.
2. Suavizar os valores da série ao redor de um ponto, para estimar a tendência naquele ponto.
3. Suavizar os valores da serie através de sucessivos ajustes de retas de mínimos quadrados ponderados.

### **b) Suavização**

Quando se supõe que a tendência pode ser representada por um polinômio de baixo grau isto implica que se usam todas as observações  $Z_t$ ,  $t = 1, \dots, N$ , para estimar o polinômio, que representará  $T_t$  sobre o tempo considerado. A idéia é usar algum tipo de suavização para a tendência em um instante  $t$  e ter as observações  $Z_{t-n}$ ,  $Z_{t-n+1}$ ,  $\dots$ ,  $Z_{t+n}$  para estimar  $T_t$ .

Existem vários tipos de suavização; dentre eles estão as medias móveis e as *lowes*, mas a mais utilizada é a média móvel.

**Médias Móveis:** A média móvel é a soma dos valores pré-definidos divididos pelo mesmo número de dados que geram um ponto no gráfico. Estes pontos ligados no gráfico geram um filtro linear, ou seja, uma operação que transforma a série de  $Z_t$  na série  $Z_t^*$ :

$$Z_t^* = F[Z_t] \quad 4.4$$

Sendo:

$$t = 1, \dots, N.$$

$Z_t^*$  = Dado suavizado

$F[Z_t]$  = Filtro linear para o dado  $Z_t$

Quer-se que  $F$  seja tal que  $T_t^* \approx T_t$ , de modo que suavizando as observações  $Z_t$ , resulta  $F[Z_t] = Z_t^* \approx T_t$ , sendo que o  $F$  o filtro comumente utilizado é da forma:

$$Z_t^* = \sum_{j=1}^n c_j Z_{t+j} \quad 4.5$$

A equação 4.5 pode também ser escrita na forma:

$$Z_t^* = \frac{1}{2n+1} \sum_{j=1}^n Z_{t+j} = \frac{1}{2n+1} \sum_{j=1}^n T_{t+j} \quad 4.6$$

Sendo:

$$t = n+1, \dots, N-n.$$

$n$  = observações do início e  $n$  no final da série original

$Z_t^*$  = Estimativa da tendência no instante  $t$

#### 4.2.1.2 Análise de Fourier

A análise de Fourier tem sido utilizada tradicionalmente para resolver algumas equações diferenciais parciais que aparecem na Física e na Matemática como as equações de ondas. Na análise de séries temporais, resultantes da observação de processos estocásticos, o objetivo básico é de aproximar uma função do tempo por uma combinação linear de harmônicos (componentes senoidais), os quais são as transformações de Fourier discretas da série (MORETIN, 2005).

Os modelos mais utilizados são aqueles que têm uma periodicidade e os que têm duas ou mais periodicidades.

Considere-se aqui o modelo de periodicidade constante, apresentado na equação 4.7.

$$Z_t = \mu + A \cos(wt) + B \sin(wt) \quad 4.7$$

Agora, considerando o modelo com periodicidades múltiplas, tem-se a equação 4.8.

$$Z_t = \mu + A_1 \cos(w_1 t) + B_1 \sin(w_1 t) + A_2 \cos(w_2 t) + B_2 \sin(w_2 t) \quad 4.8$$

Sendo:

$Z_t$  = Modelo da série de Fourier

$\mu$  = Constante

A, B,  $A_1$ ,  $B_1$ ,  $A_2$  e  $B_2$  = Amplitudes

A frequência  $w$  é representada pela equação 4.9:

$$w = 2\pi j/n, \quad 4.9$$



Sendo:

$j =$  Tempo  $i$

$n =$  número total de amostras

#### 4.3 METODOLOGIA

Para fazer a modelagem de dióxido de carbono atmosférico analisa-se primeiro o mundo real, para então assumir algumas considerações para a modelagem; essas considerações foram feitas por motivos de ruídos incontroláveis e inesperados, impossíveis de manejar de maneira estável, assim como também pela falta de dados, se assumem várias condições para as previsões futuras.

Com os dados obtidos e apresentados no capítulo 3 encontra-se a tendência e sazonalidade para alguns dos fluxos (Ecossistema Terrestre, Emissões Antropogênicas), não obstante, se assume para previsões as seguintes considerações:

1. O fluxo entre o oceano e atmosfera será considerado constante para uma escala de tempo de centenas de anos, pelo fato de que os processos de troca de dióxido de carbono no interior do oceano são muito mais estáveis e eles tem uma mudança muito lenta em comparação com os outros fluxos. (IPCC, 2001).
2. Para calcular o fluxo entre o ecossistema terrestre e atmosfera será considerado que a superfície de floresta no mundo vai seguir a tendência passada (1995-2005) para os próximos anos, assim como, também, o intercâmbio líquido do ecossistema (*NEE*) será considerado constante para cada uma das zonas térmicas, sem considerar a influência da temperatura nem as concentrações de dióxido de carbono.

3. Os dois fluxos, tanto oceânico como do ecossistema terrestre, adquirem uma tendência linear para os dados de interpolação.
4. O fluxo antropogênico seguirá a tendência exponencial do ano 1995-2005 para os próximos anos.
5. Considera-se que a concentração inicial de dióxido de carbono é a concentração média medida para o ano 1994 nas diferentes estações de monitoramento.

A partir dos dados referentes aos anos 1994 até 2004 se faz um modelo de predição para as concentrações de dióxido de carbono de cada estação de monitoramento (Barrow-Alasca, Mauna Loa, Samoa Americana, Pólo Sul) para assim obter dados para o ano 2005.

#### 4.3.1 Modelagem dos dados de dióxido de carbono atmosféricos

A modelagem para obter os dados do ano 2005 em diante segue a forma das equações 4.1, 4.2 e 4.3, as quais revelam a tendência e a sazonalidade de cada dado.

O primeiro passo para encontrar as duas equações foi realizar uma suavização dos dados mediante a equação 4.6, a qual permitiu realizar uma estabilização da curva; essa suavização foi realizada mediante *médias móveis* dos anos anteriores tomando como partida os dados do ano 1994.

Para a modelagem se fez a somatória para 12 meses; assim, N terá o valor 12; depois se determinou o erro mediante a Equação 4.10:

$$erro = Z_i - Z_i^* \tag{4.10}$$

Na qual:

$Z_i$  = Valor do dado real no tempo i (TgC ano<sup>-1</sup>)

$Z_i^*$  = valor do dado suavizado no tempo i (TgC ano<sup>-1</sup>)

Com os valores obtidos para o erro, procedeu-se à determinação da correlação da sazonalidade mediante a análise das séries de Fourier pelo programa *Statística 7.0*. As equações geradas pelo programa para as estações de Mauna Loa (**MNO**), Barrow (**BRW**) e Pólo Sul (**PS**) foram assumidas de acordo com o modelo apresentado na equação 4.11.

$$S(t) = A + B.Sen(C.t) - erro_i \quad 4.11$$

e para a estação Samoa Americana (**SMO**) assumiu-se o modelo da equação 4.12, por ter uma periodicidade múltipla:

$$S(t) = A + B.Cos(C.t) + D.Sen(E.t) + F.Cos(G.t) + H.Sen(I.t) + erro_i \quad 4.12$$

Sendo:

$S(t)$  = Variação Sazonal dos dados em função do tempo (TgC)

$t$  = Tempo (ano)

Os valores obtidos mediante o programa de *STATISTICA 7.0* são apresentados na Tabela 4.1.

Tabela 4.1: Constantes da equação de Sazonalidade para cada estação (TgC ano<sup>-1</sup>).

| Estações<br>Constantes | Barrow | Mauna<br>Loa | Samoa Americana | Pólo<br>Sul |
|------------------------|--------|--------------|-----------------|-------------|
| A                      | 0,9837 | 0,9984       | 0,1476          | 0,9789      |
| B                      | 6,9319 | 2,5251       | 0,0508          | -0,3711     |
| C                      | 0,5236 | 0,5236       | 0,1989          | 0,5236      |
| D                      | -----  | -----        | -0,2301         | -----       |
| E                      | -----  | -----        | 0,1989          | -----       |
| F                      | -----  | -----        | 0,0822          | -----       |
| G                      | -----  | -----        | 0,1308          | -----       |
| H                      | -----  | -----        | 0,3599          | -----       |
| I                      | -----  | -----        | 0,1308          | -----       |

Obtida a sazonalidade buscou-se a correlação da tendência, a partir das médias móveis. As equações geradas pelo programa para as quatro estações são da forma:

$$T(t) = A.Exp(B.t) \quad 4.13$$

Sendo:

$T(t)$  = Tendência dos dados em função do tempo  $i$  (TgC)

$t$  = Tempo. (ano)

Os dados das constantes da equação 4.6 para cada uma das estações (**BRW, MNO, SMO, PS**) são apresentados na Tabela 4.2.

Tabela 4.2: Constantes das equações das tendências para cada estação (TgC ano<sup>-1</sup>).

| Estações   | Alaska Barrow | Mauna Loa | Samoa Americana | Pólo Sul |
|------------|---------------|-----------|-----------------|----------|
| Constantes |               |           |                 |          |
| A          | 358,1805      | 357,0227  | 355,7064        | 354,5352 |
| B          | 0,000412      | 0,000412  | 0,000412        | 0,000410 |

O resultado dos modelos são apresentados nas Figura 4.2 até 4.5.

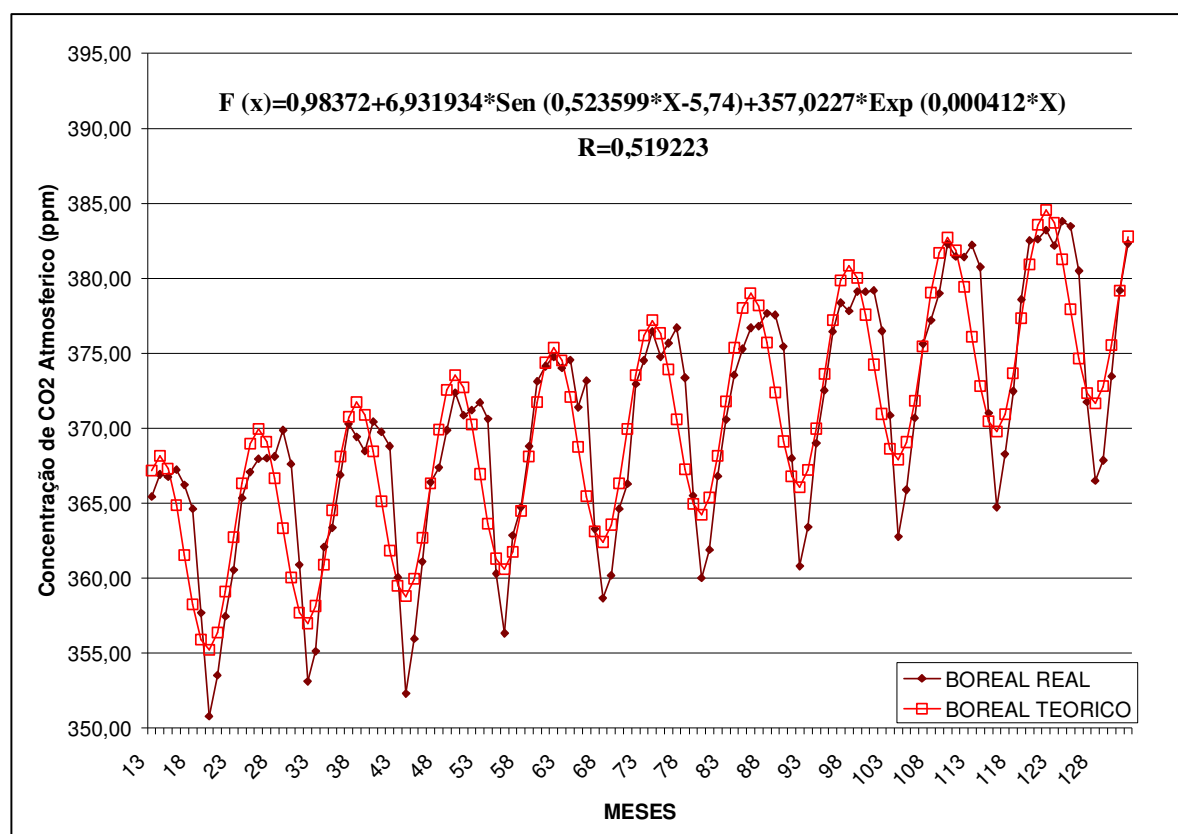


Figura 4.2 - Comparação de dados reais (marrom) com o modelo teórico (vermelho) para a estação BARROW ALASKA

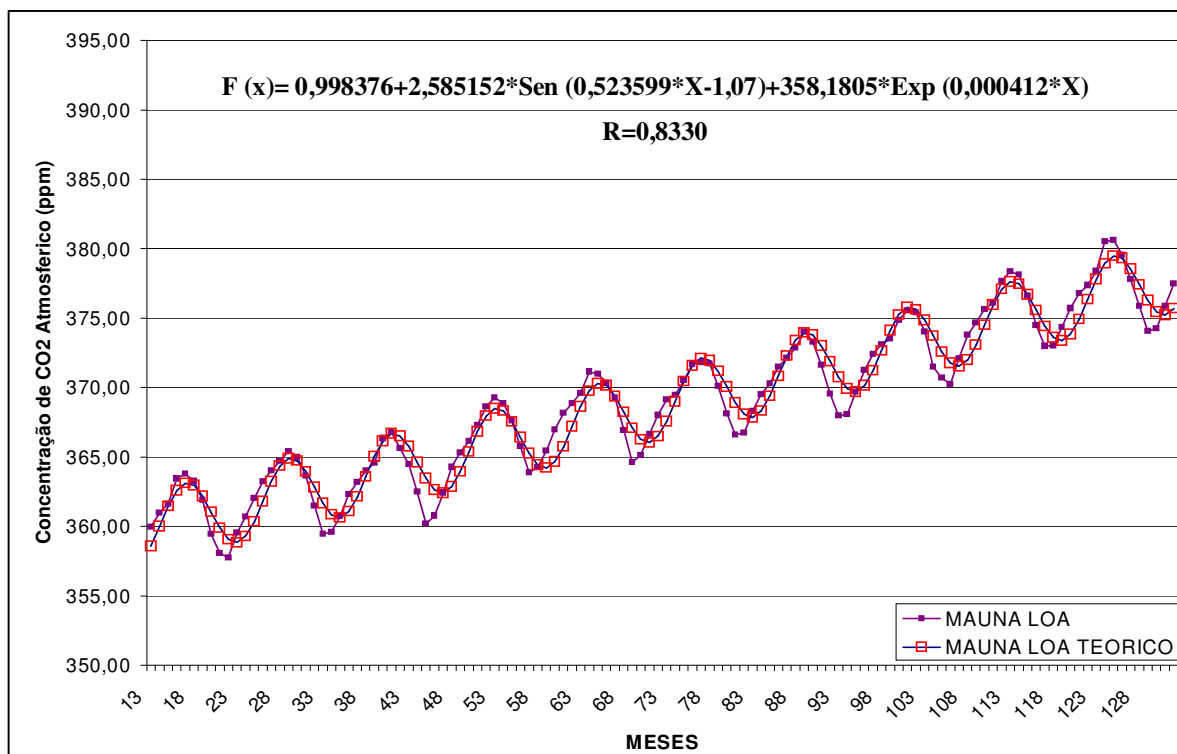


Figura 4.3 - Comparação de dados reais (roxo) com o modelo teórico (vermelho) para a estação MAUNA LOA

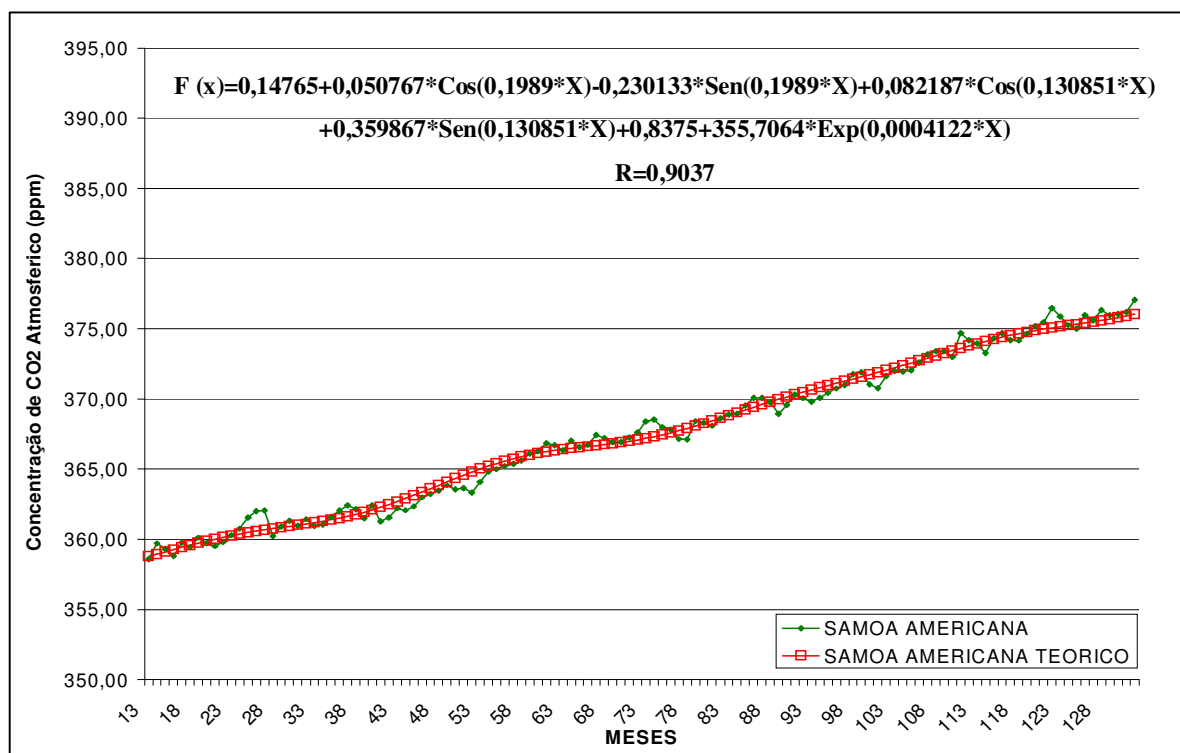


Figura 4.4 - Comparação de dados reais (verde) com o modelo teórico (vermelho) para a estação SAMOA AMERICANA

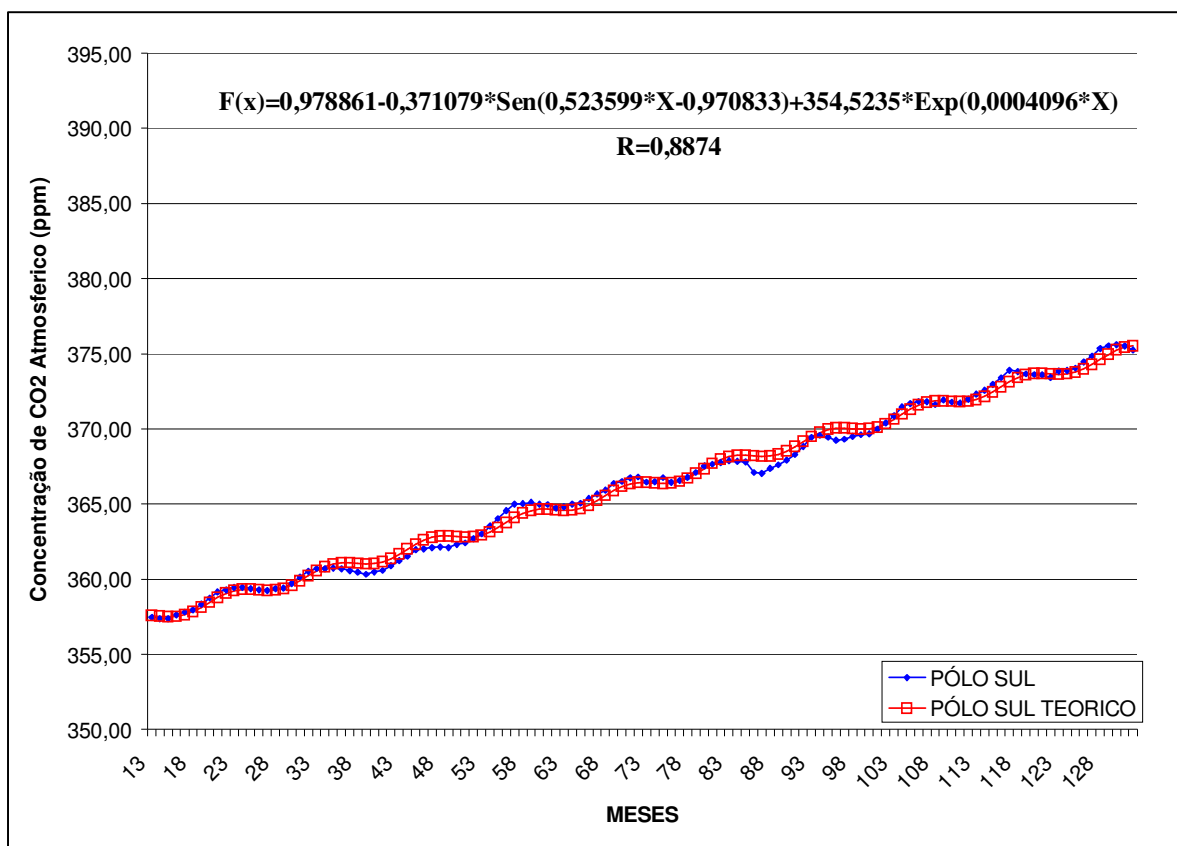


Figura 4.5 - Comparação de dados reais (azul) com o modelo teórico (vermelho) para a estação PÓLO SUL

### 4.3.2 Geração de dados de fluxos entre reservatórios

Os dados reais encontrados para os fluxos entre reservatórios são para os anos 1995, 2000, 2005; foram gerados dados mediante a interpolação de polinômios pelo Método de Lagrange para os anos os quais não se conseguiram dados reais. Este método de integração não leva em conta nenhuma alteração repentina como produto do sistema climático. Assim, tem-se a equação 4.14:

$$f_i(t) = \sum_{j=0}^i L_j(t) f(t_j) \quad 4.14$$

Sendo:

$$L_j(t) = \prod_{\substack{j=0 \\ j \neq l}}^i \frac{x - x_j}{x_l - x_j} \quad 4.15$$

Pela falta de dados se usará a versão linear da equação isto é, tomando como referência os dados reais, primeiro para o ano 1995 e 2000 e depois para os anos 2000 e 2005, então a equação 4.15 é da forma:

$$f_i(t) = \frac{t - t_1}{t_0 - t_1} * f(t_0) + \frac{t - t_0}{t_1 - t_0} * f(t_1) \quad 4.16$$

Sendo:

$f_i(t)$  = Fluxo em função do tempo (TgC)

$t, t_1$  = tempo (ano)

$f(t_0)$  = Fluxo no tempo  $t_0$  (TgC)

$f(t_1)$  = Fluxo no tempo  $t_1$  (TgC)

#### 4.3.2.1 Modelagem de dados para fluxo do ecossistema terrestre e a atmosfera

Realizou-se primeiro a modelagem dos três dados obtidos durante os anos de 1995, 2000, 2005. Em seguida, a consideração da modelagem na qual se assume a mesma sazonalidade e tendência para os dados dos próximos anos, considerando que as previsões vão ser para intervalos de cinco anos.

Assim, tem-se a equação 4.17, que segue a forma da equação 4.3 para cada uma das zonas térmicas:

$$\frac{dm_{CO_2}}{dt}_{ET\_ATM} = T(t)_{ET\_ATM} + S(t)_{ET\_ATM} \quad 4.17$$



Sendo:

$\frac{dm_{CO_2}}{dt}_{ET\_ATM}$  = Função do fluxo de dióxido de carbono entre o ecossistema terrestre e a atmosfera em função do tempo (TgC)

$T(t)_{ET\_ATM}$  = Tendência dos dados do fluxo ecossistema terrestre e atmosfera em função do tempo (TgC)

$S(t)_{ET\_ATM}$  = Variação Sazonal dos dados do fluxo ecossistema terrestre e atmosfera em função do tempo. (TgC)

A equação que melhor se ajustou aos dados da zona boreal e da zona temperada foi à equação 4.18 por apresentar uma periodicidade única:

$$S(t)_{ET\_ATM} = A + B.SEN(C.t + D) \quad 4.18$$

A equação que melhor ajustou para a zona tropical foi à equação 4.19:

$$S(t)_{ET\_ATM} = A + B.COS(C.t + D) \quad 4.19$$

Para a equação das tendências, as três zonas assumiram a seguinte equação, por ter uma confiabilidade aceitável:

$$T(t)_{ET\_ATM} = E + F.t \quad 4.20$$

Os valores das constantes são apresentados na Tabela 4.3.

Tabela 4.3: Dados das constantes para as equações 4.18- 4.20 para cada uma das zonas térmicas. (TgC ano<sup>-1</sup>)

| Zona<br>Constantes | Boreal                | Temperada             | Tropical              |
|--------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| A                  | 0,21x10 <sup>-8</sup> | 0,21x10 <sup>-8</sup> | 0,21x10 <sup>-8</sup> |
| B                  | 137,9271              | 102,9271              | 53,9271               |
| C                  | 3,1415                | 3,1415                | 3,1415                |
| D                  | -0,2862               | -0,2862               | -28,6213              |
| E                  | 1192,35               | -2980,3               | -1808,7               |
| F                  | -12,589               | -1,888                | 7,9474                |

#### 4.3.2.2 Modelagem de dados para o fluxo do oceano e atmosfera

Para realizar a modelagem do fluxo entre o oceano e atmosfera utilizou-se a primeira consideração, o fluxo oceano atmosfera for considerado constante para a escala de tempo de centenas de anos. Pelo fato de que os processos de trocas no interior do oceano são muito estáveis e eles têm uma mudança muito lenta, Interpola-se mediante a equação 4.16 os dados do fluxo oceano - atmosfera gerando dados para os anos de estudo.

Como na primeira consideração se fala que a mudança do oceano é lenta, então também se considera o valor dos dados para os próximos anos como valores constantes.

#### 4.3.2.3 Modelagem dos dados de emissões de dióxido de carbono antropogênico

Para a modelagem dos dados de emissão de dióxido de carbono antropogênicos se juntaram os valores dos dados dos dois tipos de emissões (combustão de produtos fósseis

(ver Tabela 3.1) e mudanças de uso de solos (ver Tabela 3.2)) e só se trabalhou com as três zonas térmicas (Boreal, Temperada e Tropical), pois a zona polar não tem emissões antropogênicas por ser uma zona desabitada pelo homem em grande parte de seu território. Para obter o modelo se utilizou o programa *Statística 7.0*. Esses dados foram equacionados mediante séries temporais analisando a tendência e a variabilidade sazonal que cada zona térmica apresenta.

Trabalhou-se com os dados obtidos dos anos 1995 até 2005. A equação da variabilidade anual e tendência que melhor se ajustou aos dados em cada uma das zonas térmicas; são apresentadas nas equações 4.21 até 2.24:

$$\frac{dm_{CO_2}}{dt}_{ANTROP\_ATM} = S(t)_{ANTROP\_ATM} + T(t)_{ANTROP\_ATM}$$

Para a *zona boreal*, a sazonalidade foi calculada mediante uma correlação da série de Fourier de periodicidade múltipla, expressa na equação 4.21:

$$\left(\frac{dm_{CO_2}}{dt}\right)_1 = A + B.Cos(C.t) + D.Sen(C.t) + E.Cos(F.t) + G.Sen(F.t) \quad 4.21$$

Para a *zona temperada* a sazonalidade foi calculada, mediante uma correlação da serie de Fourier de periodicidade única e é expressa na equação 4.22:

$$\left(\frac{dm_{CO_2}}{dt}\right)_1 = A + B.Sen(C.t + D) + E.Cos(F / t - G) \quad 4.22$$

Para a *zona tropical* a sazonalidade foi expressa na equação 4.23:

$$\left(\frac{dm_{CO_2}}{dt}\right)_1 = A + B.Sen((C.t) + D) + E.Cos((C.t) + F) + G.Sen((H.t) + I) + J.Cos((H.t) + K) \quad 4.23$$

As tendências para todas as zonas forem representadas com a equação 4.24:

$$\left(\frac{dm_{CO_2}}{dt}\right)_2 = L.Exp(M.t) \quad 4.24$$

Os valores das constantes para cada uma das zonas térmicas consideradas são apresentados na Tabela 4.4 e 4.5.

Tabela 4.4: Constantes das equações da variabilidade sazonal e da tendência para a modelagem de emissões de dióxido de carbono antropogênico para cada zona térmica. (TgC ano<sup>-1</sup>)

| Estações<br>Constantes | Boreal  | Temperada | Tropical |
|------------------------|---------|-----------|----------|
| A                      | 30,228  | 172,054   | 1,599    |
| B                      | -27,177 | -243,41   | 205,296  |
| C                      | 0,1739  | 0,7591    | -2,5067  |
| D                      | -12,822 | -1,836    | 15,761   |
| E                      | 14,897  | 165,80    | 67,064   |
| F                      | 1,445   | 31,638    | 10,850   |
| G                      | 6,148   | 0,1130    | 189,75   |
| H                      | -----   | -----     | 2,5515   |
| I                      | -----   | -----     | -15,533  |
| J                      | -----   | -----     | -128,05  |
| K                      | -----   | -----     | -22,481  |

Tabela 4.5- Constantes das equações da tendência para a modelagem de emissões de dióxido de carbono antropogênico para cada zona térmica. (TgC ano<sup>-1</sup>)

| Estação<br>Constante | Boreal  | Temperada | Tropical |
|----------------------|---------|-----------|----------|
| L                    | 626,526 | 4454,774  | 2900,02  |
| M                    | 0,01137 | 0,01851   | 0,00878  |

Já obtidos os modelos para cada uns dos fluxos de dióxido de carbono e obedecendo as restrições do modelo de seqüestro e armazenamento de dióxido de carbono atmosférico, se procede a substituir na equação 2.20 apresentada no Capítulo 2, e assim determinar o incremento de dióxido de carbono anual (armazenamento de dióxido de carbono atmosférico). Para fazer as previsões para os anos seguintes e calcular as concentrações de dióxido de carbono é utilizada a equação 4.25.

$$[CO_2]_{i+1} = [CO_2]_i + ACUM_{atm} \quad 4.25$$

Sendo:

$[CO_2]_{i+1}$  = Concentração de dióxido de carbono para um tempo i+1 (ppm)

$[CO_2]_i$  = Concentração de dióxido de carbono para o tempo i (ppm)

$ACUM_{atm}$  = Dióxido de carbono atmosférico acumulado (ppm)

Na qual a  $[CO_2]_i$  é a concentração real do ano 1994.

## 5 RESULTADOS DA MODELAGEM DE SEQÜESTRO E ARMAZENAMENTO DE DIÓXIDO DE CARBONO ATMOSFÉRICO

Como já discutido, a ferramenta analítica utilizada propõe o estudo de CO<sub>2</sub> sobre influências do comportamento do gás e as características dos reservatórios estudados, tornando o estudo da dinâmica de CO<sub>2</sub> no ciclo de carbono uma tarefa fácil, rápida e que pode gerar dados de grande confiabilidade.

### 5.1 RESULTADOS

#### 5.1.1 Fluxo entre o ecossistema terrestre e a atmosfera

Com as equações dadas no Capítulo 4 (4.18 a 4.20), são obtidos os resultados do modelo e comparados com os dados reais cada cinco anos. Esses dados são apresentados na tabela 5.1.

Tabela 5.1 - Dados Teóricos e dados reais dos Fluxos de dióxido de carbono entre o ecossistema terrestre e a atmosfera para cada zona térmica. (TgC)

| Zona | Boreal | Boreal (Teor) | Temperada | Temperada (Teor) | Tropical | Tropical (Teor) |
|------|--------|---------------|-----------|------------------|----------|-----------------|
| Ano  |        |               |           |                  |          |                 |
| 1995 | 1235   | 1231          | -3010     | -3009            | -1755    | -1757           |
| 2000 | 1093   | 1090          | -2960     | -2961            | -1820    | -1821           |
| 2005 | 1109   | 1106          | -3029     | -3028            | -1675    | -1677           |

Os dados teóricos foram interpolados mediante a equação 4.16 para obter um fluxo estimado para cada ano, durante os anos delimitados no Capítulo 3, os quais são apresentados na tabela 5.2.

Tabela 5.2 - Dados teóricos de fluxo de dióxido de carbono para todos os anos desde 1995 até 2005 em TgC.

| Zona | Boreal | Temperada | Tropical |
|------|--------|-----------|----------|
| Ano  |        |           |          |
| 1995 | 1231   | -3009     | -1757    |
| 1996 | 1203   | -3000     | -1770    |
| 1997 | 1175   | -2990     | -1782    |
| 1998 | 1147   | -2980     | -1795    |
| 1999 | 1119   | -2970     | -1808    |
| 2000 | 1090   | -2961     | -1821    |
| 2001 | 1093   | -2974     | -1792    |
| 2002 | 1096   | -2988     | -1763    |
| 2003 | 1099   | -3001     | -1735    |
| 2004 | 1102   | -3015     | -1706    |
| 2005 | 1106   | -3029     | -1678    |

No fluxo anual de carbono equivalente ao CO<sub>2</sub> pode-se observar que, dentro das florestas existentes, as únicas que conseguem seqüestrar o dióxido de carbono são as que se encontram nas zonas temperadas e nas zonas tropicais; além disso, observa-se que o poder de seqüestro do ecossistema terrestre tem mudanças com o passar dos anos, isto é, para a zona boreal o poder de liberação de CO<sub>2</sub> está diminuindo em 127 TgC. Nesta zona, a tendência de liberação é devida ao clima desta região (ver Capítulos 2-3). Para a zona temperada, o poder de seqüestro teve um crescimento em 76 TgC; segundo Houghton (2007), Keeling (2001) e Chem (2007), isso pode estar acontecendo devido a dois fatores importantes: 1) fator natural, - é assumido que as árvores incrementam as eficiências de

seqüestro em ambientes saturados de CO<sub>2</sub>; 2) fator não natural, - muitos países da zona temperada começaram a reflorestar a floresta desmatada durante anos passados, no entanto, a velocidade com que se está reflorestando é muito baixa com respeito à velocidade com que foi desflorestada. Para a zona tropical o poder de seqüestro diminuiu em 70 TgC durante os 11 anos de estudo, devido ao desflorestamento, sendo que ela foi diminuída em 69,474.10<sup>6</sup> ha. (FAO, 2006).

### 5.1.2 Fluxo do Oceano e da Atmosfera

Os dados do fluxo de CO<sub>2</sub> referente ao oceano-atmosfera foram interpolados mediante a equação 4.16. Os resultados são apresentados na tabela 5.3, onde pode ser observado o comportamento do oceano nestes últimos anos.

Tabela 5.3 - Tabela de dados gerados para o fluxo Oceano \_ Atmosfera reais (Negrito) e dados interpolados (normal) dados em TgC.

| <b>Zona</b> |               |                  |                 |              |
|-------------|---------------|------------------|-----------------|--------------|
| <b>Ano</b>  | <b>Boreal</b> | <b>Temperada</b> | <b>Tropical</b> | <b>Polar</b> |
| 1995        | -386          | -2484            | 1056            | -468         |
| 1996        | -372          | -2424            | 1083            | -462         |
| 1997        | -357          | -2364            | 1109            | -456         |
| 1998        | -343          | -2304            | 1135            | -450         |
| 1999        | -328          | -2245            | 1161            | -444         |
| 2000        | -313          | -2185            | 1187            | -438         |
| 2001        | -329          | -2192            | 1219            | -430         |
| 2002        | -346          | -2201            | 1250            | -421         |
| 2003        | -362          | -2207            | 1282            | -412         |
| 2004        | -379          | -2215            | 1314            | -404         |
| 2005        | -395          | -2222            | 1345            | -395         |



Nos 11 anos de estudo, observou-se que as zonas de maior seqüestro do carbono equivalente ao CO<sub>2</sub> são a Zona Temperada seguida da Zona polar e, por último, a Zona Boreal. A Zona Boreal aumentou o poder de seqüestro em 6 TgC; esse aumento é atribuído ao derretimento dos blocos de gelo para equilibrar o aumento das temperaturas das águas boreais. A zona temperada há milhões de anos foi uma zona de grandes quantidades de seqüestro pela grande quantidade de águas frias (temperada sul), mas nos últimos anos, este poder de seqüestro foi diminuindo lentamente; exatamente nos últimos 11 anos (1995-2005) ela diminuiu em 262 TgC por causa do aquecimento das águas, o que reduz a capacidade de seqüestro de carbono equivalente. Já na zona tropical, o panorama é outro, pois por ter águas muito quentes em comparação com as outras zonas (ver Capítulo 2), a zona tropical envia CO<sub>2</sub> à atmosfera mediante a evaporação das águas, mas este processo de evaporação é um processo que tem milhões de anos, e assim a evaporação também eleva as massas de água à atmosfera, a qual produz a formação dos ventos mediante o efeito Coriolis. O que realmente preocupa nesta zona é o aumento da evaporação dessas massas de água, provocando maiores chances de aparecimento de furacões (MEEHL, 1987), e levando maiores massas de CO<sub>2</sub> à atmosfera. Pode-se observar que nos últimos anos a quantidade de carbono equivalente ao CO<sub>2</sub> eliminado nesta zona aumentou em 289 TgC, uma quantidade preocupante para o equilíbrio do ciclo de carbono. A zona polar diminuiu o poder de seqüestro em 73 TgC. De modo, os oceanos deixaram de capturar em 608 TgC em 11 anos.

### **5.1.3 Emissões de CO<sub>2</sub> antropogênico**

Com as equações dadas no Capítulo 4 (4.21 a 4.24), obtiveram-se resultados teóricos que geraram o modelo e eles foram comparados com os dados reais e apresentados na Tabela 5.4.

Tabela 5.4 - Dados de emissões antropogênicas de dióxido de carbono feitos com os modelos para cada uma das zonas térmicas. (TgC)

| ANO  | BOREAL | BOREAL<br>(TEOR) | TEMPERADA | TEMPERADA<br>(TEOR) | TROPICAL | TROPICAL<br>(TEOR) |
|------|--------|------------------|-----------|---------------------|----------|--------------------|
| 1995 | 660    | 644              | 4564      | 4455                | 2953     | 2965               |
| 1996 | 659    | 643              | 4668      | 4538                | 2950     | 2886               |
| 1997 | 635    | 628              | 4764      | 4705                | 2961     | 2964               |
| 1998 | 636    | 637              | 4723      | 4735                | 2993     | 2995               |
| 1999 | 659    | 667              | 4760      | 4788                | 2974     | 2974               |
| 2000 | 666    | 680              | 4876      | 4981                | 3045     | 3064               |
| 2001 | 661    | 669              | 4924      | 5028                | 3065     | 3034               |
| 2002 | 649    | 672              | 4941      | 5130                | 3094     | 3098               |
| 2003 | 694    | 702              | 5185      | 5305                | 3118     | 3108               |
| 2004 | 715    | 727              | 5440      | 5486                | 3161     | 3141               |
| 2005 | 741    | 725              | 5660      | 5608                | 3214     | 3168               |

As emissões totais, como se analisou no Capítulo 2, são referentes à queima de combustíveis fósseis e à mudança de uso de solos. As maiores emissões de CO<sub>2</sub> são dadas pela zona temperada, seguida da zona tropical e por último a zona boreal. Entre os anos 1995-2005, a zona temperada aumentou as suas emissões antropogênicas em 1096 TgC. A maior parte da população do mundo encontra-se no hemisfério norte, especialmente na zona temperada, por ter um clima mais apropriado para o homem, e a contaminação é muito maior nesta zona que em outras zonas do planeta. Por exemplo, pode-se observar que na zona tropical o aumento foi de 261 TgC, quase 5 vezes menor que na zona temperada.

### 5.1.4 Armazenagem do CO<sub>2</sub> na atmosfera

Já tendo os dados completos, procedeu-se a realização do balanço de massa mediante as equações apresentadas no Capítulo 2 (equação 2.14) e procedeu-se à quantificação do armazenamento de CO<sub>2</sub> anual, para os anos do estudo (1995-2005) para serem comparados com os dados reais obtidos das medições das estações de monitoramento.

Tabela 5.5- Incremento de dióxido de carbono feito mediante o balanço de massa para cada zona climática.

| Ano  | Boreal<br>(TgC) | Temperada<br>(TgC) | Tropical<br>(TgC) | Polar<br>(TgC) | Global<br>(TgC) | Global<br>(ppm) |
|------|-----------------|--------------------|-------------------|----------------|-----------------|-----------------|
| 1995 | 1489            | -1038              | 2264              | -468           | 2246            | 1,06            |
| 1996 | 1474            | -886               | 2198              | -462           | 2324            | 1,10            |
| 1997 | 1446            | -649               | 2290              | -456           | 2631            | 1,24            |
| 1998 | 1441            | -550               | 2335              | -450           | 2776            | 1,31            |
| 1999 | 1458            | -427               | 2327              | -444           | 2913            | 1,37            |
| 2000 | 1457            | -165               | 2431              | -438           | 3285            | 1,55            |
| 2001 | 1433            | -139               | 2461              | -429           | 3326            | 1,57            |
| 2002 | 1422            | -58                | 2585              | -421           | 3529            | 1,66            |
| 2003 | 1439            | 96                 | 2655              | -412           | 3778            | 1,78            |
| 2004 | 1451            | 256                | 2748              | -404           | 4052            | 1,91            |
| 2005 | 1436            | 358                | 2836              | -395           | 4234            | 2,00            |

A análise do armazenamento e seqüestro de dióxido de carbono atmosférico se fez para cada uma das zonas climáticas do planeta e logo se somou o armazenamento anual atmosférico, também chamado aumento de dióxido de carbono, para obter o total armazenado na atmosfera durante os 11 anos (1995-2005). Todos os resultados anteriores foram obtidos por modelagem por aplicação da equação 2.14 e assim obter os dados de

armazenamento de CO<sub>2</sub> na atmosfera (armazenamento atmosférico). Pode-se observar na Tabela 5.5 que a taxa foi aumentada em aproximadamente 1 ppm (4235 TgC) nos anos 1995-2005. Pode-se observar que dentro das quatro zonas de delimitação do espaço uma única zona seqüestra ainda o carbono equivalente ao CO<sub>2</sub>, sendo esta a zona polar.

A zona temperada deixou de seqüestrar carbono no ano 2003, devido a que nesse ano os fluxos que movimentam o carbono tais como o ecossistema terrestre (-3001 TgC) e o oceano (-2207 TgC) não foram suficientes para capturar as emissões antropogênicas (5305 TgC), deixando o equilíbrio do ciclo de carbono à zona polar. No entanto, esta zona está cada vez mais diminuindo a sua capacidade de seqüestro. Outras zonas (Boreal, Tropical, Temperada) não contribuem ao seqüestro de dióxido de carbono.

O fluxo de carbono equivalente ao CO<sub>2</sub> da zona tropical, para o ecossistema terrestre, tem o segundo lugar de poder de captura em nível mundial, mas ela não é significativa em comparação com o fluxo oceânico; é por isso que as liberações de CO<sub>2</sub> do fluxo oceânico em conjunto com as liberações antropogênicas fazem desta zona uma zona de pura liberação do CO<sub>2</sub>.

De uma mesma maneira para a zona boreal, o fluxo significativo é o ecossistema terrestre que, em conjunto com as emissões antropogênicas, fazem desta zona uma zona de pura liberação de gás carbônico.

Para calcular as concentrações totais mundiais é preciso ter um dado inicial. Como a pesquisa foi considerada desde o ano de 1995, o dado inicial corresponderá à concentração de CO<sub>2</sub> média correspondente ao ano 1994. Assim, aplica-se a equação 4.25 do capítulo anterior e fazem-se projeções para os anos seguintes, que são apresentadas na tabela 5.6. Nesta tabela também se realizou uma comparação com os dados reais das concentrações de CO<sub>2</sub> atmosférico.

Tabela 5.6 – Concentrações de dióxido de carbono teóricos e reais (ppm).

| ANO  | [CO <sub>2</sub> ] <sub>TEORICO</sub> | [CO <sub>2</sub> ] <sub>REAL</sub> |
|------|---------------------------------------|------------------------------------|
| 1995 | 361,52                                | 360,37                             |
| 1996 | 362,62                                | 362,14                             |
| 1997 | 363,86                                | 363,28                             |
| 1998 | 365,17                                | 366,02                             |
| 1999 | 366,54                                | 367,78                             |
| 2000 | 368,09                                | 369,08                             |
| 2001 | 369,66                                | 370,63                             |
| 2002 | 371,32                                | 372,65                             |
| 2003 | 373,11                                | 375,12                             |
| 2004 | 375,02                                | 376,76                             |
| 2005 | 377,01                                | 378,20                             |

## 5.2 MODELO DE RESPOSTAS ACOPLADAS QUE IMPLICAM CONCENTRAÇÕES DE CO<sub>2</sub> ATMOSFÉRICO FUTURAS

O acoplamento dos modelos apresentados no capítulo 4 realiza previsões de concentrações de dióxido de carbono para anos futuros, assim também o comportamento dos fluxos (ecossistema terrestres - oceano - atmosfera), nas diferentes zonas térmicas (Boreal, Temperada, Tropical e Polar).

Assim, a seguir se apresentam as previsões de concentrações de dióxido de carbono na atmosfera e como intervêm nos fluxos para os próximos 90 anos. Esta modelagem também avalia diferentes cenários de concentrações de CO<sub>2</sub> atmosférico para cada situação analisada de sequestro e captura de carbono.

### 5.2.1 Previsões das concentrações de dióxido de carbono atmosférico (cenário primeiro)

As previsões de concentrações de dióxido de carbono na atmosfera para os próximos 90 anos são apresentadas na figura 5.1. Essas previsões seguem as tendências de máxima emissão de CO<sub>2</sub> (ou tendência máxima no ano 2005). Assume-se então:

- Um crescimento de população moderado (tendência atual),
- Elevado crescimento econômico (majoritariamente dos países em desenvolvimento)
- Elevado consumo de combustíveis fósseis (tendência atual em função à energia precisada).
- O comportamento dos fluxos de CO<sub>2</sub> segue a tendência atual.

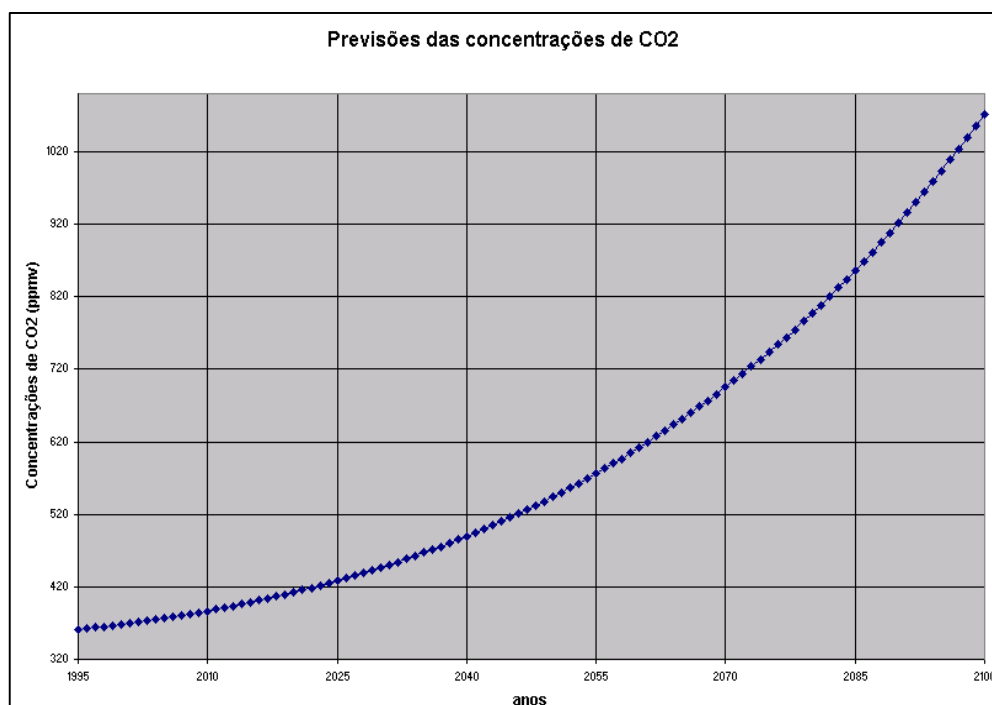


Figura 5.1 – Primeiro cenário, resposta do modelo à tendência atual de concentrações de dióxido de carbono.

A concentração de dióxido de carbono para o ano 2100 é de 1072 ppm. A resposta do aumento de dióxido de carbono esta em função dos 41008 TgC das emissões antropogênicas (figura 5.2), sendo que a zona temperada contribui com o 77% dessas emissões (a forma de emissão de dióxido de carbono está associada à queima de combustíveis fósseis), e a zona tropical contribui com 5% (a forma de emissões desta zona é influenciada pela mudança de uso de solos).

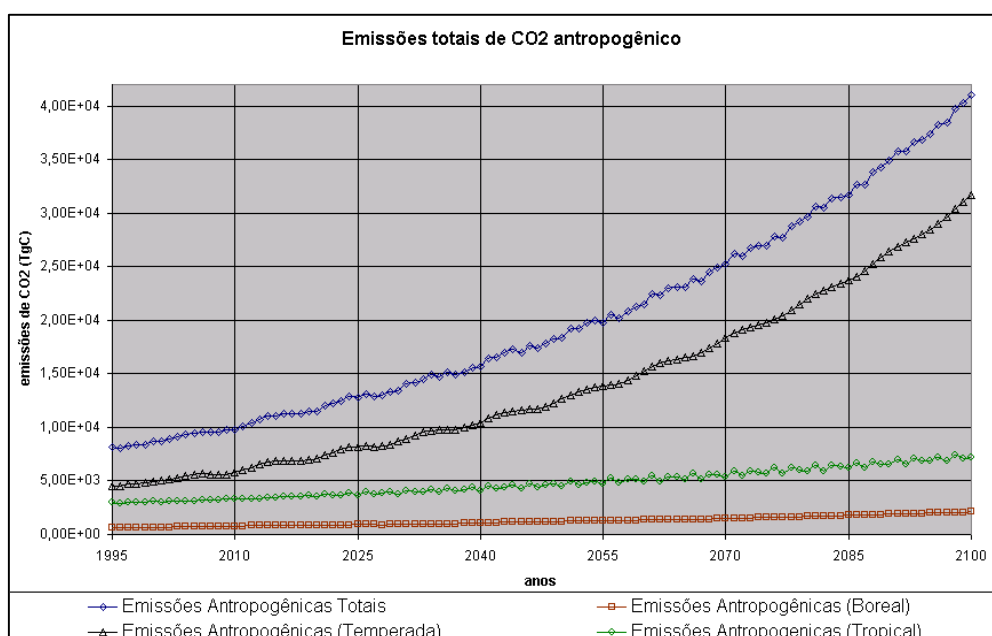


Figura 5.2 – Comportamento das emissões antropogênicas para o primeiro cenário (TgC).

Porém o comportamento dos fluxos para o ano 2100 varia com referência aos anos 1995-2005, sendo que o poder de seqüestro em algumas zonas diminui e em outras zonas aumenta. Na figura 5.3, observa-se o comportamento dos fluxos do ciclo de carbono. O fluxo do ecossistema terrestre aumentou até - 4344 TgC (no seqüestro), sendo que 72% do aumento da taxa de seqüestro corresponde à zona temperada (assume-se ao incremento de captura da floresta temperada num ambiente de CO<sub>2</sub> saturado e às políticas de reflorestação (HOUGHTON, 2007)). Por outro lado, 24% correspondem à zona tropical, e

isso se deve à perda de carbono dos solos da zona tropical e desmatamento. O restante, 3%, correspondem à zona boreal.

Segundo a modelagem, o fluxo de CO<sub>2</sub> desde a atualidade até o ano 2100 para o ecossistema terrestre terá uma diminuição na zona tropical de 731 TgC e a zona temperada terá um aumento de 139 TgC. De uma forma global, o fluxo de dióxido de carbono aumentará em 809 TgC com respeito ao ano de início, 1995 (ver Figura 5.3) .

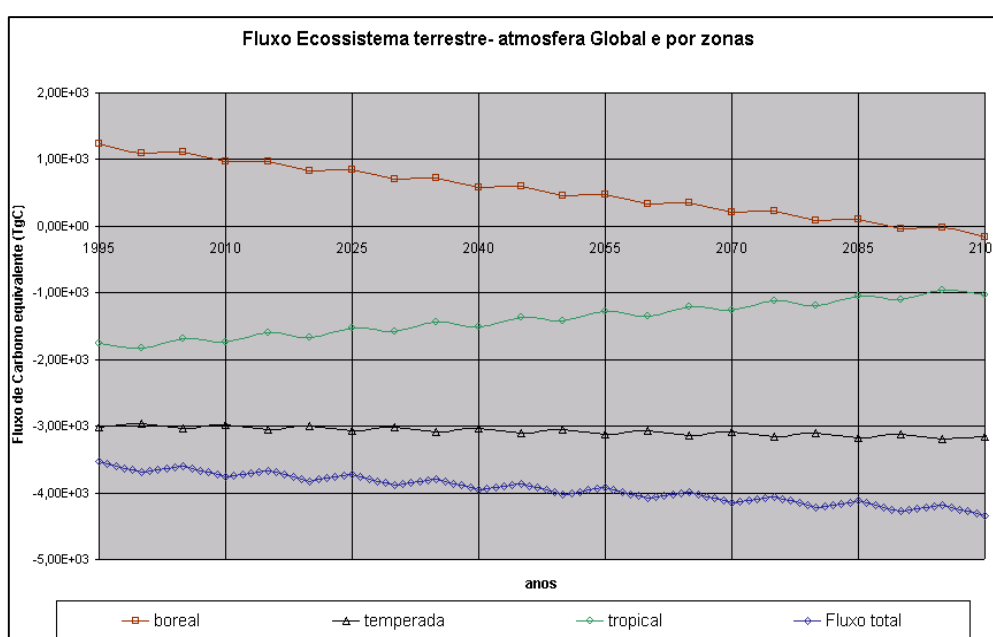


Figura 5.3 - Fluxo do ecossistema terrestre – Atmosfera global e por zonas (TgC)

## 5.2.2 Construção de cenários para concentrações de dióxido de carbono atmosférico

### 5.2.2.1 Avaliação da meta do Protocolo de Quioto (Cenário Segundo)

O protocolo de Quioto, em 1997 foi assinado, pela primeira vez, como um acordo entre alguns países do hemisfério norte (zona temperada norte) na qual os compromete a reduzir suas emissões. O protocolo de Quioto especificamente se trata do compromisso de



uma série de nações industrializadas (Anexo B do protocolo) a reduzir o 5,2 % da suas emissões em relação aos níveis de 1990 para o período 2008-2012.

Mas, quanto isso representa em termos de emissões de CO<sub>2</sub> e como reflete nas concentrações de dióxido de carbono atmosférico é o grande enigma deste protocolo. Na figura 5.4 observa-se que, com a redução de 5,2% das emissões antropogênicas dos países desenvolvidos na zona temperada norte e a zona boreal (ver anexo B do protocolo) a concentração de CO<sub>2</sub> atmosférico se reduz até 548 ppmv, representando 51% das emissões em comparação com o primeiro cenário (todos os fatores seguem a tendência atual).

Para a zona boreal, as emissões de dióxido de carbono antropogênico para o ano 1990 foi de 618 TgC, sendo que este cenário considera a redução de 5,2% num período de tempo de 2008-2012; a quantidade de emissões reduzidas para cada ano durante o período designado na zona boreal corresponde ao 6,43 TgC.ano<sup>-1</sup> (total do período é 32 TgC). Obtém-se para o ano 2012 uma emissão de 586 TgC, considerando que a partir deste ano as emissões desta zona manter-se-ão constantes até o ano 2100.

Para a zona Temperada, a emissão de CO<sub>2</sub> antropogênica no ano de 1990 foi de 2867 TgC, e a redução para o período de 2008-2012 é de 44 TgC.ano<sup>-1</sup>, sendo o total reduzido em 221 TgC até o ano 2012.

A zona tropical e a zona polar não apresentam reduções de emissões antropogênicas por não terem países do anexo B do protocolo de Quioto no seu território delimitado no Capítulo 3.

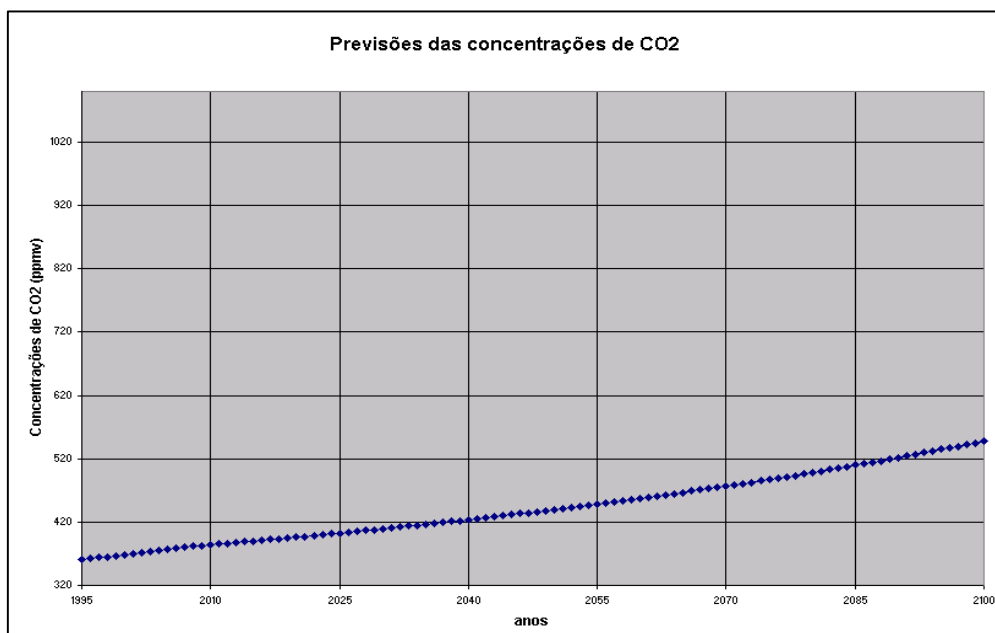


Figura 5.4 – Concentrações de dióxido de carbono atmosférico (ppmv) (Cenário Segundo)

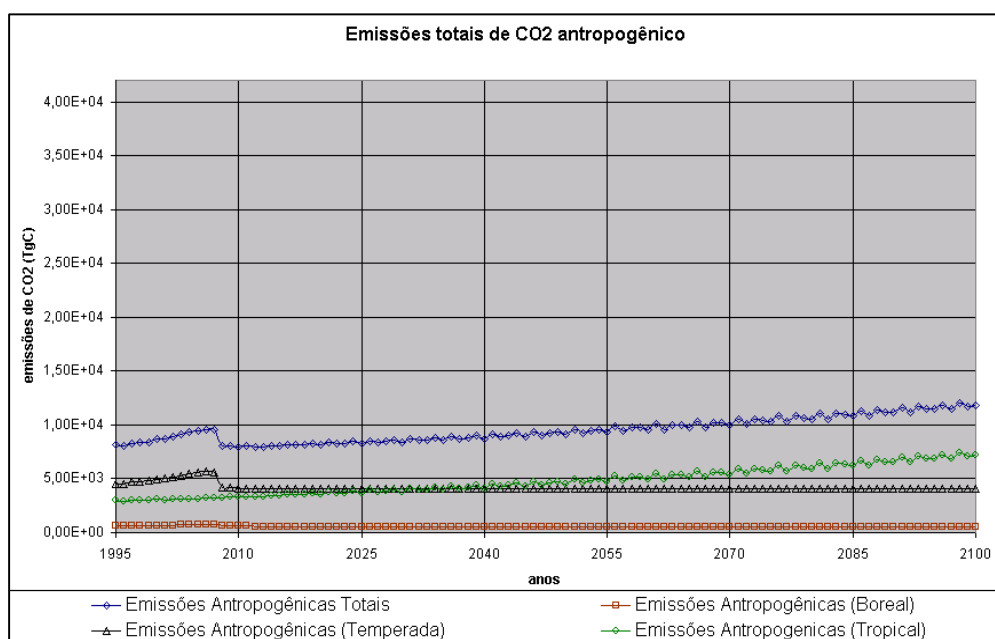


Figura 5.5 – Cenário de emissões de dióxido de carbono antropogênicas (TgC) (Cenário Segundo)

### 5.2.2.2 Países emergentes e influência da suas emissões no ciclo de carbono (Cenário terceiro)

Os países emergentes ou comumente chamados países em desenvolvimento estão começando a aumentar suas economias rapidamente; dentre de esses países encontra-se a China, com crescimento econômico entre 8-9 % nos últimos 20 anos. Se a previsão persistir, a China terá em 2050 a maior economia mundial.

A China representa de 13 a 19 % das emissões no período de 1995-2005 da zona temperada Norte e essas emissões a mais representam um aumento de 775-1472 TgC na atmosfera. A tendência de aumento é assustadora e, segundo o modelo, a China em 2100 chegará a contribuir com mais da metade das emissões de dióxido de carbono do mundo inteiro, com 59%.

A Figura 5.6 apresenta o que realmente aconteceria se a China não entrar no cenário de emissões da modelagem (se não fosse uma economia emergente) e como isso representaria no gráfico das concentrações de dióxido de carbono atmosférico.

A concentração de dióxido de carbono atmosférico diminui até 812 ppmv para o ano 2100 sendo uma redução de 24% em comparação com a previsão do cenário primeiro (1072 ppmv), o que significa uma redução nas emissões de dióxido de carbono antropogênico de 45 % (22231 TgC) em comparação com o primeiro cenário (41008 TgC). A contribuição da zona temperada para as emissões de dióxido de carbono antropogênico global foi reduzida em até 58% em comparação com o primeiro cenário (77%); ainda esta zona é a mais significativa em comparação com as outras zonas da delimitação (ver Figura 5.7).

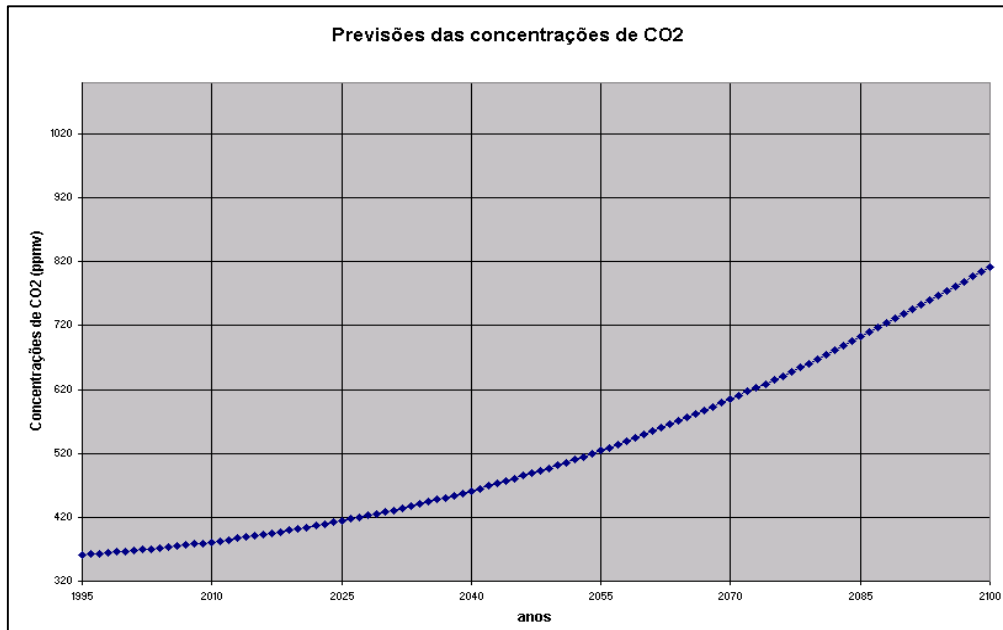


Figura 5.6 – Concentrações de dióxido de carbono atmosférico (ppmv) (Cenário terceiro)

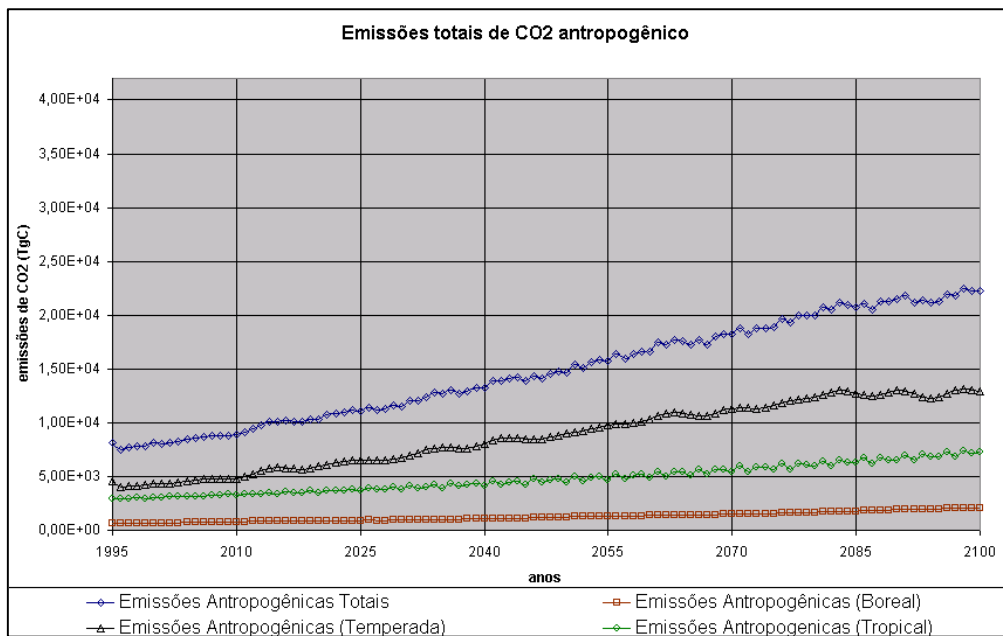


Figura 5.7 – Emissões de dióxido de carbono antropogênicas (TgC) (Cenário terceiro)

### 5.2.2.3 Estados Unidos e sua influencia no ciclo de carbono (Cenário Quarto)

Até pouco tempo atrás, a economia capitalista desfrutou de um período de tranqüilidade e comparativos crescimentos rápidos desde a crise econômica mundial do período 2001-2002. Em primeiro lugar, a potência hegemônica dos Estados Unidos diminuiu; não obstante, ainda representa a principal força motriz da economia mundial capitalista, e nos últimos anos caracterizou-se por uma série crescente (interna e externa) de desequilíbrios financeiros. O crescimento econômico representado pelos Estados Unidos no ano 2001 foi de 2,4% em comparação com o crescimento que teve no ano de 1961 de 4,2% ela diminuiu em quase a metade, a recuperação dos estados unidos de norte América depois da crise econômica mundial foi muito pequena ou débil.

Esta crise econômica dos Estados Unidos também é refletida nas emissões de dióxido de carbono. No período 1985-2005, as emissões de dióxido de carbono antropogênico reduziram-se de 23% até 20 %. A influência dos Estados Unidos nas concentrações de dióxido de carbono atmosférico foi estimada com o modelo. A figura 5.8 mostra que a concentração de CO<sub>2</sub> atmosférico será reduzida para 944 ppm para o ano 2100, o que representa uma diminuição de 11% em comparação com o cenário primeiro (1072 ppm).

As emissões de dióxido de carbono atmosférico na zona temperada no ano 2100 atingem 28059 TgC, o que representa uma redução de 32% ou 12949 TgC (relativo ao cenário primeiro) (Figura 5.8). Mesmo assim, a zona temperada ainda é a zona significativa com respeito às outras zonas (boreal, tropical), com uma porcentagem de 68%.

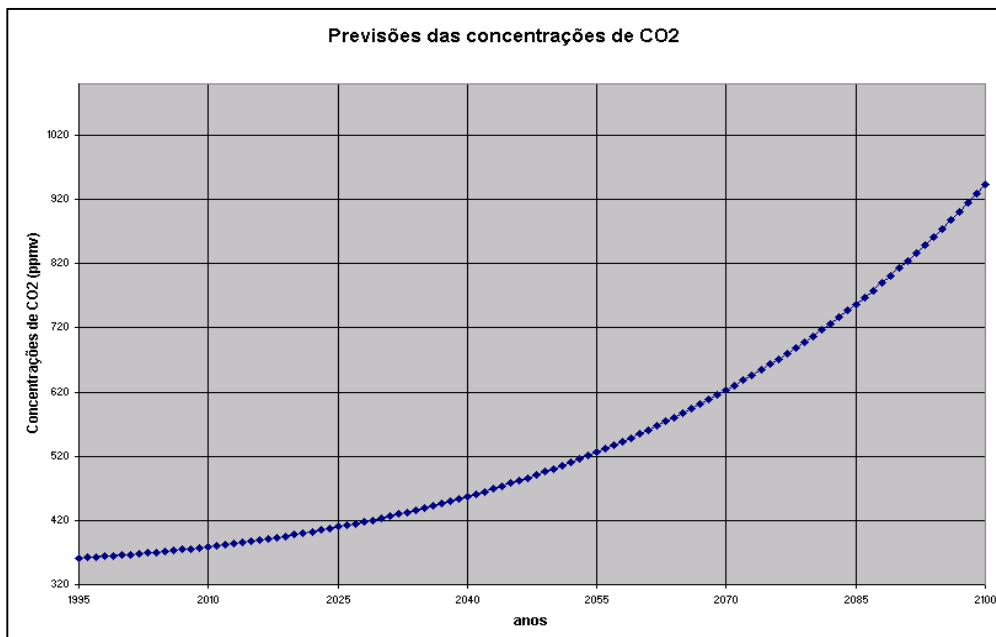


Figura 5.8 – Concentrações de dióxido de carbono atmosférico (ppm) (Cenário quarto).

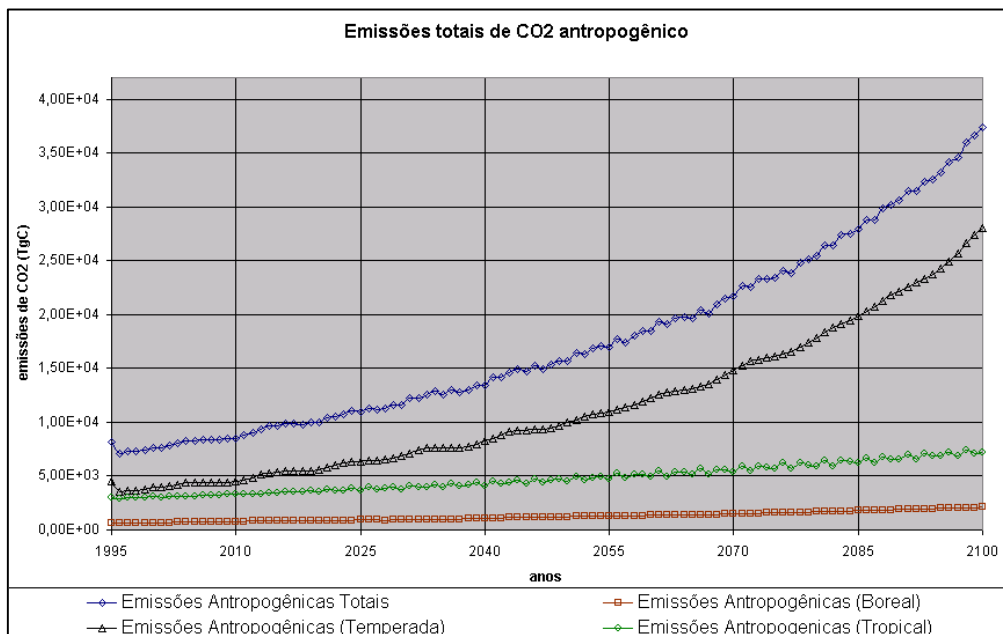


Figura 5.9 – Emissões de dióxido de carbono antropogênico (TgC) (Cenário quarto).

#### 5.2.2.4 Sistemas de Captura de Carbono (processos CCS) e sua influência nas Concentrações de CO<sub>2</sub> atmosférico (cenário quinto)

Os processos de captura de carbono são as alternativas viáveis ambientalmente para diminuir num curto período as emissões de dióxido de carbono antropogênico. No entanto, esses processos são ainda economicamente inviáveis. Países como a Escócia começaram já a construção de projetos de processos de captura de carbono pós-combustão (MITCHELL, 2007).

Análises econômicas desse processo de captura de dióxido de carbono mostram que um seqüestro de 60% de CO<sub>2</sub> emitido seria o máximo para que o processo seja viável (MOHAMMAD, 2007; HONGTAO LI, 2006; DAVISON, 2007).

Este cenário assume que a redução de CO<sub>2</sub> dar-se-á em toda a zona temperada com 60% de redução de emissões (todas as indústrias onde se tem combustão de combustíveis fósseis apresentam sistemas de captura).

A zona temperada contribuiu com 56-77% das emissões globais no período de 1995-2005. A redução de 60% por captura representa 34 – 46% das emissões totais a serem evitadas no período de 1995-2100.

Apresenta-se na Figura 5.9 a concentração de dióxido de carbono que seria obtida se todos os países implementarem a captura de carbono no nível de 60% das emissões. Pode-se observar que a redução das concentrações foi até 671 ppmv no ano 2100, que representa uma redução de 37% com respeito ao primeiro cenário (1072 ppmv).

As emissões de dióxido de carbono antropogênico diminuiram até 12674 TgC na zona temperada e globalmente diminuiram em 46% em relação ao primeiro cenário (41008 TgC). Isto quer dizer que para o ano 2100 a emissão global reduzirá até 21999 TgC (ver figura 5.10).

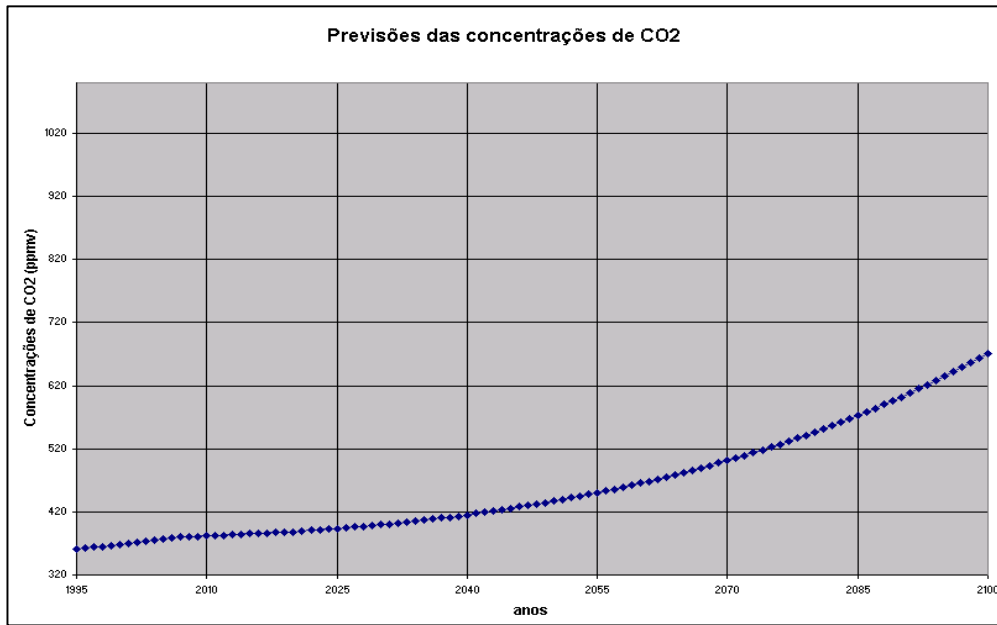


Figura 5.10 – Concentrações de dióxido de carbono atmosférico (ppmv) (Cenário Quinto)

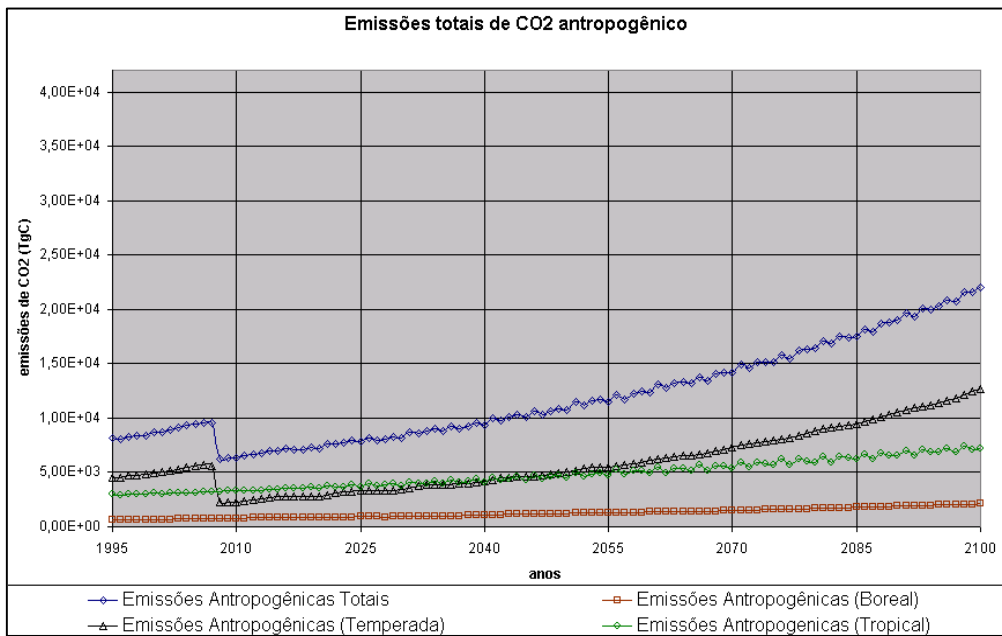


Figura 5.11 – Emissões de dióxido de carbono antropogênico (TgC) (Cenário Quinto)



## 6 CONCLUSÕES

Índices práticos e registros de dados são necessários no planejamento de controle de emissões de gás carbônico em função de zonas ou regiões, assim como também devem ser consideradas as interações entre os fluxos do ciclo de carbono. Saber qual zona é a que mais seqüestra o gás carbônico e qual zona está sendo influenciada com o aumento de dióxido de carbono atmosférico é de muita importância, já que gera cenários muito úteis para os próximos anos e com isto proporciona um entendimento mais aprofundado de como está se comportando o ciclo de carbono no planeta Terra.

O presente trabalho teve como objetivo estudar o impacto do incremento das concentrações de dióxido de carbono atmosférico nos fluxos do ciclo de carbono e nas diferentes zonas do planeta terra, e prever concentrações para anos futuros e com isso, construir cenários diferentes onde se possa observar a influência de alguns países e como se pode conseguir a estabilidade do CO<sub>2</sub> na atmosfera.

Do estudo chegou-se à conclusão que:

- A zona térmica que se torna mais influenciada às mudanças de concentrações de dióxido de carbono é a zona tropical, devido a que esta zona desde anos anteriores à revolução industrial é influenciada pelo fator oceânico encarregado de evaporar as águas, e com as massas de água também libera para a atmosfera grande parte do dióxido de carbono contida no oceano. Em um momento na escala do tempo na qual o ciclo de carbono não sofria influência humana, o balanço de CO<sub>2</sub> era contínuo, em regime permanente. Um pequeno aumento do CO<sub>2</sub> antropogênico na zona tropical produz um grande aumento nas concentrações de dióxido de carbono atmosférico (tal como se vê na Tabela 5.5).

- As emissões de dióxido de carbono são mais significativas no hemisfério norte, especificamente na zona temperada. Uma grande quantidade dessas emissões é seqüestrada pelos fluxos da própria zona, outra quantidade é transportada pela circulação atmosférica até a zona tropical, aumentando o impacto ambiental.
- As concentrações de dióxido de carbono atmosférico medidas em diferentes estações, se comparadas, apresentam uma concentração quase constante, devido a processos de difusão em regime turbulento na atmosfera.
- A zona de melhor seqüestro de dióxido de carbono é a zona temperada, em ambos hemisférios. O seqüestro no hemisfério sul é influenciado pelo fator oceânico (águas frias, grandes massas de água). No hemisfério norte, o seqüestro é influenciado pelo fator ecossistema terrestre (elevado poder de seqüestro de CO<sub>2</sub> das plantas).
- A modelagem feita no trabalho apresenta porcentagem de erro aceitáveis de 6,72%, 14,73%, 16,04% respectivamente em comparação com outros modelos como a WRE (Wigley et al., 1996), Bern-CC (Schimel et al., 1996), IS92e (IPCC, 2001). Assim, podem-se construir cenários confiáveis para os próximos 90 anos.
- Para se atingir a meta do protocolo de Quioto, para concentrações de dióxido de carbono ao redor de 548 ppmv, a zona temperada, representada principalmente por países como os Estados Unidos e a China, tem que necessariamente utilizar processos de captura de carbono. Com uma captura de 60% de CO<sub>2</sub> se atinge a concentração de 671 ppmv, conforme mostrado na figura 5.9.
- Segundo os cenários terceiro e quarto, dentro da zona temperada o país mais influente é a China para os próximos anos, embora apresente emissões per capita muito menores

que as emissões per capita dos Estados Unidos (ver figura 2.22). A faixa de influência nas concentrações de dióxido de carbono atmosférico para o ano 2100 da China é de 24% e a faixa da influência dos Estados Unidos para o mesmo ano é de 11%.

- Para poder atingir a proposta do protocolo de Quioto, a zona temperada terá que diminuir mais que 34% de suas emissões, o que representa os 60% de CO<sub>2</sub> evitados pelos processos CCS, como se apresenta no cenário quinto.
- A falta de disponibilidade de dados de medições de diferentes fatores (Oceano, Ecossistema terrestre) faz com que o modelo não possa determinar previsões para anos passados.

#### **Sugestões para trabalhos futuros:**

- 1 Realizar medições anuais de fluxos de dióxido de carbono do oceano e atmosfera nas diferentes zonas do planeta Terra, para construir um modelo mais preciso que determine com mais exatidão o comportamento do seqüestro e armazenagem de CO<sub>2</sub> do fator oceânico.
- 2 Analisar fluxos de CO<sub>2</sub> da floresta tropical, que proporcionem dados anuais para construção de novos modelos.
- 3 Determinar um modelo que permita perceber a influência regional no ciclo de carbono, em função ao incremento da população, a demanda de energia e as emissões de dióxido de carbono antropogênico.

**REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

BAKER, T.; JAFFE, L.; PAN, J.; KHOLER, R.; WARREN, R.; WINNE, S. **Avoiding dangerous climatic change by inducing technological progress: Scenarios using large- scale economical model.** In: Avoiding dangerous climatic change. H.J. SCHELINHUDE. Cambridge university press. Cambridge. UK. 2006.

BENDER, M.; ELLIS, T.; TANS, P.; LOWE, D. **Variability in the O-2/ N-2 ratio of southern hemispheric air, 1991-1994: implication for the carbon cycle.** Global Biochemical Cycle. v. 10, n. 1, p. 9-21, 1996.

BOUSQUET, P.; PEYLIN, P.; CIAIS, P.; LE QUERÉ, C; FRIEDLINGSTEIN, P.; TANS, P. P. **Regional changes in carbon dioxide fluxes of land and oceans since 1980.** Science, v. 290, n. 5495, p. 1342-1346, 2000.

BROWN, S. AND LUGO, A. E.: 1982, **The Storage and Production of Organic Matter in Tropical Forests and Their Role in the Global Carbon Cycle**, Biotropica 14 (3), 161–187 BROWN e LUGO, 1982

CARBON DIOXIDE INFORMATION ANALYSIS CENTER (CDIAC), <http://cdiac.ornl.gov/trends/landuse/houghton/houghton.html> , Acesso: Janeiro do 2007.

CHEN, B.; CHEN, J. M. **Diurnal, seasonal and interannual variability of carbon isotope discrimination at the canopy level in response to environmental factors in boreal forest ecosystem.** Plant, Cell and environmental, v. 30, p. 1223-1239, 2007.

DAVISON, J. **Performance and cost of the power plant whit capture and storage of the CO<sub>2</sub>.** Energy, v. 32, p. 1163-1176. 2007.

DETWILER, R. **Land use change and the global carbon cycle: the role of tropical soil**. Biogeochemistry, v. 2, p. 67-93. 1986.

FEELY, R.A.; WANNINKHOF, R.; TAKAHASHI, T.; TANS, P. **Influence of El Nino on the Equatorial Pacific contribution to atmospheric CO2 accounts**. Nature, v. 398, p. 597- 601. 1999.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION (FAO), 1997, **State of the world's forests (SOFO)**, <<http://www.fao.org/docrep/W4345E/W4345E00.htm>> Electronic Publishing Policy and Support Branch Communication Division (FAO). Rome. Italy. 1997. Acesso: Março do 2007.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION (FAO), 2003. **State of the world's forests (SOFO)**, <<http://www.fao.org/DOCREP/005/Y7581E/Y7581E00.HTM>> Electronic Publishing Policy and Support Branch Communication Division (FAO). Rome. Italy. 2003. Acesso: Março do 2007.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION (FAO), 2007. **State of the world's forests (SOFO)**, <<http://www.fao.org/docrep/009/a0773e/a0773e00.htm>>. Electronic Publishing Policy and Support Branch Communication Division (FAO). Rome. Italy. 2007. Acesso: Março do 2007.

GOLDBARG, M.; PACCA, H. **Otimização combinatória e programação linear : modelos e algoritmos**. Editora Campus. Rio de Janeiro. 649p. 2005.

GOULDEN M.L., MUNGER J. W., FAN S. M., DAUBE B. C., WOFSEY S. C. **Exchange of carbon dioxide by deciduous forest: response to interannual climate variability**. Science, v. 271, p. 1576-1578, 1996.

GRACE, J.; McINTYRE, J. **Fluxes of carbon dioxide and water vapor over an undisturbed tropical forest in south-west amazonia.** Global change Biology. v. 3, p.1995b

GRACE, J.; MALHI, Y.; LLOYD, J. **The use of eddy covariance to infer the net carbon dioxide uptake of Brazilian rain forest.** Global change Biology, v. 2, p. 209-217, 1996.

HOOPER A.; SILVIUS, M.; WÖSTEN, H.; PAGE, S. **CO<sub>2</sub> Assessment of CO<sub>2</sub> emissions from drained peatlands in the SE Asia.** Delft Hydraulics Report. 2006.

HARRISON, R. M. **An introduction to pollution Science.** RSC Publishing, 2006.

HONGTAO, L.; MARÉCHAL, F.; BURER, M.; FAVRAT, D. **Multi-objective optimization of an advanced combined cycle power plant including CO<sub>2</sub> separation options.** Energy, v. 31, p. 3117-3134. 2006

HOLLINGER, D. Y.; KELLIHER F. M.; BYRES, J. N.; HUNT, J. E.; McSEVENY, T. M.; WEIR, P. L. **Carbon dioxide exchange between an undisturbed old-growth temperate forest and the atmosphere.** Ecology, n. 75. p. 1999.

HOUGHTON, R.A. **The annual net flux of carbon to the atmosphere from changes in land use 1850 – 1990.** Tellus, v. 51, n. B, p. 208-313, 1999.

HOUGHTON, R. A. **Revised estimates of the annual net flux of carbon to the atmosphere from changes in land use and stand management 1850 – 2000.** Tellus, v. 55, n. B, p. 378-390, 2002.

HOUGHTON, R. A. **Balancing the global carbon budget**. Annual Review of Earth and Planet is Science, v.35, p. 313-347. 2007.

HOUGHTON, J.; MEIRA FLHO, L.; CALLANDER, B.; HARRIS, N.; KATTENBERG, A.; MASKELL, K. **IPCC 1996a: climate Change 1995. The science of climate change**. Contribution of Working Group I to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel Climatic change. Cambridge University Press, Cambridge, UK.

HOUGHTON, J.; DING, Y.; GRIGGS, D. **IPCC 2001. Climatic change 2001. The scientific basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment report of the Intergovernmental Panel Climatic Change**. Cambridge University Press. Cambridge. UK.

INTERNATIONAL ENERGY ANNUAL 2005. **CO<sub>2</sub> world carbon dioxide emission from the consumption and flaring of fossil fuel 1980-2005**. EIO. 2007. Energy Information Administration (EIA). <<http://www.eia.doe.gov/pub/international/iealf/tableh1co2.xls>>. Acesso: Dezembro do 2006.

IEO, **Energy Related Carbon dioxide Emissions** In: international Energy Outlook. 2007. 73-79 p. Energy International Administration. USA. Disponível em: <<http://www.eia.doe.gov/oiaf/ieo/emissions.html>> Acesso: 25/01/2008.

JR. CARVALHO, J.; McQUAY, M. **Princípios de combustão aplicada**. Florianópolis. Ed. UFSC. 176 p. 2007.

KEELING, D. C.; PIPER, C. S.; BACASTOW, B.R.; WAHLEN, M.; WHORF, T. P.; HEIMANN, M.; MEIJER H. A. **Exchanges of atmospheric CO<sub>2</sub> and <sup>13</sup>CO<sub>2</sub> with the**

**terrestrial biosphere and Oceans from 1978 to 2000 I. Global Aspect.** Scripps Institution Oceanography, v. , n. 21, p.1-27, 2001.

KEELING, D. C.; PIPER, C. S. **Exchanges of atmospheric CO<sub>2</sub> and <sup>13</sup>CO<sub>2</sub> with the terrestrial biosphere and Oceans from 1978 to 2000 IV. Critical Overview.** Scripps Institution Oceanography, v., n. 21, p.1-27, 2001.

KEELING, C. Atmospheric trace gas measurement- carbon dioxide – Mauna Loa. CDIAC. 2006. Disponível em: <<http://cdiac.ornl.gov/ftp/trends/co2/maunaloa.co2>> Acesso: 14/03/2007.

KEELING, C. Atmospheric trace gas measurement- carbon dioxide – Barrow (Alaska). CDIAC. 2006. Disponível em: <<http://cdiac.ornl.gov/ftp/trends/co2/barrsio.co2>> Acesso: 14/03/2007.

KEELING, C. Atmospheric trace gas measurement- carbon dioxide – Pólo Sul. CDIAC. 2006. Disponível em: <<http://cdiac.ornl.gov/ftp/trends/co2/sposio.co2>> Acesso: 14/03/2007.

KEELING, C. Atmospheric trace gas measurement- carbon dioxide – American Samoa. CDIAC. 2006. Disponível em: <<http://cdiac.ornl.gov/ftp/trends/co2/samsio.co2>> Acesso: 14/03/2007

KORHONEN, R.; PINGOUD, I.; MATTHEWS, R. **The role of carbon sequestration and the tonne-year approach in fulfilling the objective of climate convention.** Environmental Science & Policy, n. 5, p. 429-441, 2002.

LAB FIT. **Curve Fitting Software.** Versão DEMO.



LAL R. **Soil carbon sequestration to mitigate climate change.** *Geoderma*. v. 123, p. 1-22, 2004.

LAL R. **Forest Soils and carbon sequestration.** *Forest Ecology and Management*. v. 220, p. 242-258, 2005.

LINDROTH, A.; GRELE, A.; MORÉN, A. S. **Long-term measurements of boreal forest carbon balance reveal large temperature sensitivity.** *Global Change Biology*. v. 4, p. 443-450, 1998.

LÊ QUERE, C; METZ, N. **Natural process regulating the ocean uptake of CO<sub>2</sub>.** In: *The Global Carbon Cycle: Integrating Humans, climate and the natural world*. 2006. 246 – 256 p. Island press .2006

MALHI, Y.; BALDOCCHI, D. D.; JARVIS P. G. **The carbon balance of tropical, temperate and boreal forests.** *Plant, Cell & Environmental*, v. 22, p. 715-740, 1999.

MALHI, Y.; GRACE, J. **Tropical Forest and atmospheric carbon dioxide.** *Trends in Ecology & Evolution*, v. 15, n. 8, p. 332-337, 2000.

METZ, B.; DAVIDSON, O.; BOSH, P. **Climate Change : Introduction of Climate Change.** Cambridge University Press. Cambridge-UK. 2007.

MITCHELL, B.; GUNTER, B.; POTTER, I.; LAKEMAN, B.; WONG, S. **Planning options for technology and knowledge base development for the implementation of carbon capture and transportation research, development and deployment in Canada.** Planning options for technology and knowledge base development for the implementation of carbon capture and transportation research, development and deployment in Canada. The CANICAP program. 2007.

MINKKINEN, K.; LAINE, J. **Long-term effect of forest drainage on the peat carbon stores of pine mires in Finland.** Canadian Journal Forest Research, v. 28, p. 1267–1275. 1998

MOHAMMAD, R.; ABU-ZAHRA, NIEDERER, J.; FERON P. **CO<sub>2</sub> capture from power plants Part II: A parametric study of the economical performance based on mono-ethanolamine.** International journal of Greenhouse Gas Control, v. I, p. 135-142, 2007;

MORETTIN, A. P.; TOLOI, M. C. C. **Análise de séries temporárias**, 2<sup>a</sup> edição edgard blüdcher ltda., , São Paolo, 2005.

MURNANCE, R.; SARMIENTO, J. L.; LE QUERÉ, C. **Spatial distribution of air-sea CO<sub>2</sub> fluxes and the interhemispheric transport of carbon by ocean.** Global Biogeochemical Cycles, v. 13, p. 287-305, 1999.

OLIVIER, J.; PULLES, T.; AARDENNE, V. **Part III: Greenhouse gas emissions. In: CO<sub>2</sub> emissions from fuel combustion 1971-2004.** 2006. International Energy Agency (IEA). 576 p. Paris. France.

PIPER, C. S.; KEELING, D. C.; STEWART E. F. **Exchanges of atmospheric CO<sub>2</sub> and <sup>13</sup>CO<sub>2</sub> with the terrestrial biosphere and Oceans from 1978 to 2000 III. SENSITIVITY TESTS.** Scripps Institution Oceanography, v. , n. 21, p.1-27, 2001.

PIPER, C. S.; KEELING, D. C.; HEIMANN, M.; STEWART E. F. **Exchanges of atmospheric CO<sub>2</sub> and <sup>13</sup>CO<sub>2</sub> with the terrestrial biosphere and Oceans from 1978 to 2000 II. A Three- Dimensional tracer inversion model to deduce regional fluxes.** Scripps Institution Oceanography, v. , n. 21, p.1-27, 2001.

QUADRELLI, R.; PETERSON, S. **The energy–climate challenge: Recent trends in CO<sub>2</sub> emissions from fuel combustion.** Energy Policy, v. 35, n. 11, p. 5938- 5952. 2007.

RYAN, M. **Effects of climate change on plant respiration.** Ecological applications, v. 1, p. 157-167, 1991.

SARMIENTO, J., BLENDER, M. **Carbon biogeochemistry and climatic change.** Photosynthesis Research, v. 39, p. 209-234. 1994.

SCHIMEL, D. S.; WIGLEY, M. L. **The carbon cycle.** Cambridge University Press. U.K. 2001

SEINFELD, J. **Urban air pollution: State of the science.** Science, v. 243, 745–752. 1984.

SABINE, C. L.; FEELY, R. A.; GRUBER, N.; KEY, R. M.; LEE, K.; BULLISTER, J. L.; WANNINKHOF, R.; WONG, C. S.; WALLACE, D. W. R.; TILBROOK, B.; MILLERO, F. J.; PENG T.; KOZYR, O.T.; RIOS A. F. **The oceanic sink for anthropogenic CO<sub>2</sub>.** Science, v.305, p. 367-371, 2004.

SIXTO, R. **Investigación Operativa: Programación lineal y aplicaciones.** Editorial Ramón Areces. 383 p. Madrid. España. 1996.

STATÍSTICA 7.0. Programa de estatística. Statsoft. Versão DEMO.

STÖCKLI, R.; VERMOTE, E.; SALEOUS, N.; SIMMON,R.; HERRING, D. **The Blue Marble Next Generation - A true color earth dataset including seasonal**

**dynamics from MODIS.** Nasa Earth Observatory. 2005. Disponível em: <<http://veimages.gsfc.nasa.gov/7130/readme.pdf>>. Acesso:31/01/2007

TRABALKA J. R. **Atmospheric carbon dioxide and the global carbon cycle.** 1982

TAKLE, E. S. **Atmospheric Composition, Carbon dioxide.** Disponível em URL:<[http://www.iitap.iastate.edu/gccourse/chem/gases/gases\\_lecture.html](http://www.iitap.iastate.edu/gccourse/chem/gases/gases_lecture.html)> 1996, acesso em: 12/11/2006.

TAKAHASHI, T.; FEELY, A.; WEISS, R. F.; WANNINKHOF R. H.; CHIPMAN D. W.; SUTHERLAND, C. S.; TAKAHASHI, T. T. **Global air – sea flux of CO<sub>2</sub>: An estimates based measurements of sea- air pCO<sub>2</sub> difference.** Proceedings of the national academy of science of the United States of America, v. 94, p. 8292-8299, 1997.

TAKAHASHI, T.; SUTHELAND, S.C.; SWEENEY, C.; POISSON, A.; METZL, N.; TILBROOK, B.; BATES, N; WANNINKHOF, R.; FEELY, R. A.; SABINE, C.; OLAFSSON, J.; NOJIRI, Y. **Global sea-air CO<sub>2</sub> flux based on climate surface ocean pCO<sub>2</sub> and seasonal biological and temperature effects.** Deep Research II, v. 49, p. 1601-1622, 2002.

VALENTINE, D. **Ecosystem controls on CH<sub>4</sub> production and emission in northern wetlands: insights to be gained from use of stable isotopes in passed gas.** Science Seminar Series, Institute of Arctic Biology, University of Alaska Fairbanks. 1996.

VALENTINE, D. **BOREAS TF-11 CO<sub>2</sub> and CH<sub>4</sub> Flux Data from the SSA-Fen. Data set.** Oak Ridge National Laboratory Distributed Active Archive Center, U.S.A. 1998. Disponível em: <<http://www.daac.ornl.gov>>. Acesso em: 20/03/2007.

WATSON, R.; ZINYOWERA, M.; MOSS, R.; DOKEKEN, D. **IPCC. 1996b:** Climate Change 1995. **Impact, adaptation and mitigation of climatic change: scientific-technical analyses.** Contribution of Working Group I to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel Climatic change. Cambridge University Press, Cambridge, UK.

WEISS, R. F. **Carbon dioxide in water and seawater: the solubility of non-ideal gas.** Marine Chemical, v. 2, p. 203-215, 1974.

**ANEXO A**

Tabela A.1 - Concentrações de CO<sub>2</sub> atmosférico (ppm) para o ano 2005 e 2006 utilizando os modelos de predição.

## ANEXOS A

**Tabela A.1- Concentrações de CO<sub>2</sub> atmosférico (ppm) para o ano 2005 e 2006 utilizando os modelos de predição.**

| <b>Ano</b>  | <b>Meses</b>     | <b>Barrow Alaska<br/>(BRW)</b> | <b>Mauna Loa<br/>(MNO)</b> | <b>Samoa Americana<br/>(SMO)</b> | <b>Pólo Sul<br/>(PS)</b> |
|-------------|------------------|--------------------------------|----------------------------|----------------------------------|--------------------------|
| <b>2005</b> | <b>Janeiro</b>   | 385,41                         | 376,78                     | 376,18                           | 375,52                   |
|             | <b>Fevereiro</b> | 386,43                         | 378,21                     | 376,34                           | 375,49                   |
|             | <b>Março</b>     | 385,58                         | 379,67                     | 376,51                           | 375,46                   |
|             | <b>Abril</b>     | 383,14                         | 380,80                     | 376,70                           | 375,49                   |
|             | <b>Mai</b>       | 379,82                         | 381,34                     | 376,90                           | 375,61                   |
|             | <b>Junho</b>     | 376,53                         | 381,18                     | 377,11                           | 375,83                   |
|             | <b>Julho</b>     | 374,20                         | 380,42                     | 377,33                           | 376,12                   |
|             | <b>Agosto</b>    | 373,50                         | 379,29                     | 377,57                           | 376,47                   |
|             | <b>Setembro</b>  | 374,66                         | 378,15                     | 377,81                           | 376,80                   |
|             | <b>Outubro</b>   | 377,41                         | 378,15                     | 378,06                           | 377,08                   |
|             | <b>Novembro</b>  | 381,05                         | 377,33                     | 378,31                           | 377,27                   |
|             | <b>Dezembro</b>  | 384,65                         | 377,10                     | 378,56                           | 377,36                   |
| <b>2006</b> | <b>Janeiro</b>   | 387,29                         | 377,57                     | 378,81                           | 377,37                   |
|             | <b>Fevereiro</b> | 388,30                         | 378,65                     | 379,05                           | 377,33                   |
|             | <b>Março</b>     | 387,46                         | 380,08                     | 379,28                           | 377,31                   |
|             | <b>Abril</b>     | 385,02                         | 381,54                     | 379,51                           | 377,34                   |
|             | <b>Mai</b>       | 381,69                         | 382,67                     | 379,72                           | 377,46                   |
|             | <b>Junho</b>     | 378,41                         | 383,21                     | 379,92                           | 377,67                   |
|             | <b>Julho</b>     | 376,08                         | 383,05                     | 380,11                           | 377,97                   |
|             | <b>Agosto</b>    | 375,38                         | 382,29                     | 380,28                           | 378,32                   |
|             | <b>Setembro</b>  | 376,54                         | 381,17                     | 380,43                           | 378,65                   |
|             | <b>Outubro</b>   | 379,29                         | 380,02                     | 380,57                           | 378,93                   |
|             | <b>Novembro</b>  | 382,93                         | 379,21                     | 380,70                           | 379,12                   |
|             | <b>Dezembro</b>  | 386,53                         | 378,98                     | 380,81                           | 379,21                   |

**ANEXO B**

Tabela B.1 – Valores de fluxos do ciclo de carbono (Cenário Primeiro)

Tabela B.2 – Concentrações de dióxido de carbono atmosférico (Cenário Primeiro)



## ANEXO B

Tabela B.1– Valores de fluxos do ciclo de carbono (Cenário Primeiro)

| No | ANO  | FLUXO OCEANICO TEORICO |              |             |             | FLUXO ECOSSITEMA TERRESTRE TEORICO |              |              |       | FLUXO ANTROPOGENICO |           |          |       |
|----|------|------------------------|--------------|-------------|-------------|------------------------------------|--------------|--------------|-------|---------------------|-----------|----------|-------|
|    |      | TgC/ANO                |              |             |             | TgC/ANO                            |              |              |       | TgC/ANO             |           |          |       |
|    |      | BOREAL                 | TEMPERADA    | TROPICAL    | POLAR       | BOREAL                             | TEMPERADA    | TROPICAL     | POLAR | BOREAL              | TEMPERADA | TROPICAL | POLAR |
| 0  | 1995 | -387                   | -2484        | 1056        | -468        | 1231                               | -3009        | -1757        | ----- | 644                 | 4564      | 2965     | ----- |
| 1  | 1996 | -372                   | -2424        | 1083        | -462        | 1203                               | -3000        | -1770        | ----- | 643                 | 4538      | 2886     | ----- |
| 2  | 1997 | -357                   | -2364        | 1109        | -456        | 1175                               | -2990        | -1782        | ----- | 628                 | 4705      | 2964     | ----- |
| 3  | 1998 | -343                   | -2305        | 1135        | -450        | 1147                               | -2980        | -1795        | ----- | 637                 | 4735      | 2995     | ----- |
| 4  | 1999 | -328                   | -2245        | 1161        | -444        | 1119                               | -2970        | -1808        | ----- | 667                 | 4788      | 2974     | ----- |
| 5  | 2000 | <b>-313</b>            | <b>-2185</b> | <b>1187</b> | <b>-438</b> | <b>1090</b>                        | <b>-2961</b> | <b>-1821</b> | ----- | 680                 | 4981      | 3065     | ----- |
| 6  | 2001 | -329                   | -2192        | 1219        | -430        | 1093                               | -2974        | -1792        | ----- | 670                 | 5028      | 3034     | ----- |
| 7  | 2002 | -346                   | -2200        | 1250        | -421        | 1096                               | -2988        | -1763        | ----- | 672                 | 5130      | 3098     | ----- |
| 8  | 2003 | -362                   | -2207        | 1282        | -412        | 1099                               | -3001        | -1735        | ----- | 702                 | 5305      | 3108     | ----- |
| 9  | 2004 | -379                   | -2215        | 1314        | -404        | 1103                               | -3015        | -1706        | ----- | 727                 | 5486      | 3141     | ----- |
| 10 | 2005 | <b>-395</b>            | <b>-2222</b> | <b>1345</b> | <b>-395</b> | <b>1106</b>                        | <b>-3028</b> | <b>-1678</b> | ----- | 725                 | 5608      | 3168     | ----- |
| 11 | 2006 | -372                   | -2424        | 1083        | -462        | 1077                               | -3019        | -1690        | ----- | 721                 | 5648      | 3193     | ----- |
| 12 | 2007 | -357                   | -2364        | 1109        | -456        | 1049                               | -3009        | -1703        | ----- | 745                 | 5626      | 3234     | ----- |
| 13 | 2008 | -343                   | -2305        | 1135        | -450        | 1021                               | -2999        | -1716        | ----- | 778                 | 5599      | 3231     | ----- |
| 14 | 2009 | -328                   | -2245        | 1161        | -444        | 993                                | -2989        | -1728        | ----- | 786                 | 5627      | 3311     | ----- |
| 15 | 2010 | -313                   | -2185        | 1187        | -438        | <b>964</b>                         | <b>-2979</b> | <b>-1741</b> | ----- | 778                 | 5751      | 3277     | ----- |
| 16 | 2011 | -329                   | -2192        | 1219        | -430        | 967                                | -2993        | -1713        | ----- | 791                 | 5974      | 3361     | ----- |
| 17 | 2012 | -346                   | -2200        | 1250        | -421        | 971                                | -3007        | -1684        | ----- | 824                 | 6256      | 3369     | ----- |
| 18 | 2013 | -362                   | -2207        | 1282        | -412        | 974                                | -3020        | -1655        | ----- | 840                 | 6533      | 3366     | ----- |
| 19 | 2014 | -379                   | -2215        | 1314        | -404        | 977                                | -3034        | -1627        | ----- | 831                 | 6746      | 3485     | ----- |
| 20 | 2015 | <b>-395</b>            | <b>-2222</b> | <b>1345</b> | <b>-395</b> | <b>980</b>                         | <b>-3047</b> | <b>-1598</b> | ----- | 831                 | 6858      | 3392     | ----- |
| 21 | 2016 | -372                   | -2424        | 1083        | -462        | 952                                | -3037        | -1611        | ----- | 857                 | 6880      | 3539     | ----- |
| 22 | 2017 | -357                   | -2364        | 1109        | -456        | 923                                | -3028        | -1624        | ----- | 880                 | 6858      | 3507     | ----- |
| 23 | 2018 | -343                   | -2305        | 1135        | -450        | 895                                | -3018        | -1636        | ----- | 874                 | 6857      | 3513     | ----- |
| 24 | 2019 | -328                   | -2245        | 1161        | -444        | 867                                | -3008        | -1649        | ----- | 863                 | 6934      | 3662     | ----- |
| 25 | 2020 | -313                   | -2185        | 1187        | -438        | <b>838</b>                         | <b>-2998</b> | <b>-1662</b> | ----- | 878                 | 7115      | 3514     | ----- |
| 26 | 2021 | -329                   | -2192        | 1219        | -430        | 841                                | -3012        | -1633        | ----- | 904                 | 7381      | 3726     | ----- |
| 27 | 2022 | -346                   | -2200        | 1250        | -421        | 845                                | -3025        | -1604        | ----- | 905                 | 7680      | 3647     | ----- |
| 28 | 2023 | -362                   | -2207        | 1282        | -412        | 848                                | -3039        | -1576        | ----- | 888                 | 7946      | 3671     | ----- |
| 29 | 2024 | -379                   | -2215        | 1314        | -404        | 851                                | -3053        | -1547        | ----- | 892                 | 8127      | 3841     | ----- |
| 30 | 2025 | <b>-395</b>            | <b>-2222</b> | <b>1345</b> | <b>-395</b> | <b>854</b>                         | <b>-3066</b> | <b>-1519</b> | ----- | 918                 | 8208      | 3646     | ----- |
| 31 | 2026 | -372                   | -2424        | 1083        | -462        | 826                                | -3056        | -1531        | ----- | 929                 | 8218      | 3921     | ----- |
| 32 | 2027 | -357                   | -2364        | 1109        | -456        | 797                                | -3047        | -1544        | ----- | 915                 | 8215      | 3790     | ----- |
| 33 | 2028 | -343                   | -2305        | 1135        | -450        | 769                                | -3037        | -1557        | ----- | 909                 | 8264      | 3843     | ----- |
| 34 | 2029 | -328                   | -2245        | 1161        | -444        | 741                                | -3027        | -1569        | ----- | 932                 | 8408      | 4023     | ----- |
| 35 | 2030 | -313                   | -2185        | 1187        | -438        | <b>712</b>                         | <b>-3017</b> | <b>-1582</b> | ----- | 955                 | 8655      | 3788     | ----- |
| 36 | 2031 | -329                   | -2192        | 1219        | -430        | 716                                | -3031        | -1554        | ----- | 950                 | 8966      | 4123     | ----- |
| 37 | 2032 | -346                   | -2200        | 1250        | -421        | 719                                | -3044        | -1525        | ----- | 940                 | 9279      | 3937     | ----- |
| 38 | 2033 | -362                   | -2207        | 1282        | -412        | 722                                | -3058        | -1496        | ----- | 958                 | 9533      | 4026     | ----- |
| 39 | 2034 | -379                   | -2215        | 1314        | -404        | 725                                | -3072        | -1468        | ----- | 990                 | 9691      | 4206     | ----- |
| 40 | 2035 | <b>-395</b>            | <b>-2222</b> | <b>1345</b> | <b>-395</b> | <b>728</b>                         | <b>-3085</b> | <b>-1439</b> | ----- | 999                 | 9759      | 3941     | ----- |

|    |      |      |       |      |      |            |              |              |       |      |       |      |       |
|----|------|------|-------|------|------|------------|--------------|--------------|-------|------|-------|------|-------|
| 41 | 2036 | -372 | -2424 | 1083 | -462 | 700        | -3075        | -1452        | ----- | 990  | 9780  | 4332 | ----- |
| 42 | 2037 | -357 | -2364 | 1109 | -456 | 671        | -3065        | -1465        | ----- | 1002 | 9820  | 4090 | ----- |
| 43 | 2038 | -343 | -2305 | 1135 | -450 | 643        | -3056        | -1477        | ----- | 1037 | 9938  | 4223 | ----- |
| 44 | 2039 | -328 | -2245 | 1161 | -444 | 615        | -3046        | -1490        | ----- | 1060 | 10160 | 4392 | ----- |
| 45 | 2040 | -313 | -2185 | 1187 | -438 | <b>586</b> | <b>-3036</b> | <b>-1503</b> | ----- | 1058 | 10473 | 4107 | ----- |
| 46 | 2041 | -329 | -2192 | 1219 | -430 | 590        | -3049        | -1474        | ----- | 1062 | 10823 | 4547 | ----- |
| 47 | 2042 | -346 | -2200 | 1250 | -421 | 593        | -3063        | -1446        | ----- | 1095 | 11146 | 4249 | ----- |
| 48 | 2043 | -362 | -2207 | 1282 | -412 | 596        | -3077        | -1417        | ----- | 1129 | 11388 | 4431 | ----- |
| 49 | 2044 | -379 | -2215 | 1314 | -404 | 599        | -3091        | -1388        | ----- | 1135 | 11532 | 4580 | ----- |
| 50 | 2045 | -395 | -2222 | 1345 | -395 | <b>603</b> | <b>-3104</b> | <b>-1360</b> | ----- | 1133 | 11602 | 4287 | ----- |
| 51 | 2046 | -372 | -2424 | 1083 | -462 | 574        | -3094        | -1372        | ----- | 1157 | 11657 | 4767 | ----- |
| 52 | 2047 | -357 | -2364 | 1109 | -456 | 546        | -3084        | -1385        | ----- | 1195 | 11762 | 4418 | ----- |
| 53 | 2048 | -343 | -2305 | 1135 | -450 | 517        | -3074        | -1398        | ----- | 1210 | 11962 | 4651 | ----- |
| 54 | 2049 | -328 | -2245 | 1161 | -444 | 489        | -3065        | -1411        | ----- | 1204 | 12266 | 4772 | ----- |
| 55 | 2050 | -313 | -2185 | 1187 | -438 | <b>460</b> | <b>-3055</b> | <b>-1423</b> | ----- | 1216 | 12640 | 4480 | ----- |
| 56 | 2051 | -329 | -2192 | 1219 | -430 | 464        | -3068        | -1395        | ----- | 1250 | 13022 | 4992 | ----- |
| 57 | 2052 | -346 | -2200 | 1250 | -421 | 467        | -3082        | -1366        | ----- | 1273 | 13349 | 4595 | ----- |
| 58 | 2053 | -362 | -2207 | 1282 | -412 | 470        | -3096        | -1337        | ----- | 1268 | 13583 | 4882 | ----- |
| 59 | 2054 | -379 | -2215 | 1314 | -404 | 473        | -3109        | -1309        | ----- | 1267 | 13726 | 4969 | ----- |
| 60 | 2055 | -395 | -2222 | 1345 | -395 | <b>477</b> | <b>-3123</b> | <b>-1280</b> | ----- | 1293 | 13821 | 4688 | ----- |
| 61 | 2056 | -372 | -2424 | 1083 | -462 | 448        | -3113        | -1293        | ----- | 1321 | 13932 | 5221 | ----- |
| 62 | 2057 | -357 | -2364 | 1109 | -456 | 420        | -3103        | -1306        | ----- | 1322 | 14119 | 4785 | ----- |
| 63 | 2058 | -343 | -2305 | 1135 | -450 | 391        | -3093        | -1318        | ----- | 1312 | 14411 | 5124 | ----- |
| 64 | 2059 | -328 | -2245 | 1161 | -444 | 363        | -3083        | -1331        | ----- | 1327 | 14797 | 5170 | ----- |
| 65 | 2060 | -313 | -2185 | 1187 | -438 | <b>334</b> | <b>-3073</b> | <b>-1344</b> | ----- | 1358 | 15227 | 4911 | ----- |
| 66 | 2061 | -329 | -2192 | 1219 | -430 | 338        | -3087        | -1315        | ----- | 1368 | 15635 | 5455 | ----- |
| 67 | 2062 | -346 | -2200 | 1250 | -421 | 341        | -3101        | -1287        | ----- | 1357 | 15966 | 4986 | ----- |
| 68 | 2063 | -362 | -2207 | 1282 | -412 | 344        | -3115        | -1258        | ----- | 1362 | 16201 | 5375 | ----- |
| 69 | 2064 | -379 | -2215 | 1314 | -404 | 348        | -3128        | -1229        | ----- | 1392 | 16361 | 5378 | ----- |
| 70 | 2065 | -395 | -2222 | 1345 | -395 | <b>351</b> | <b>-3142</b> | <b>-1201</b> | ----- | 1414 | 16503 | 5150 | ----- |
| 71 | 2066 | -372 | -2424 | 1083 | -462 | 322        | -3132        | -1213        | ----- | 1409 | 16693 | 5694 | ----- |
| 72 | 2067 | -357 | -2364 | 1109 | -456 | 294        | -3122        | -1226        | ----- | 1408 | 16978 | 5202 | ----- |
| 73 | 2068 | -343 | -2305 | 1135 | -450 | 265        | -3112        | -1239        | ----- | 1435 | 17369 | 5636 | ----- |
| 74 | 2069 | -328 | -2245 | 1161 | -444 | 237        | -3102        | -1252        | ----- | 1469 | 17835 | 5594 | ----- |
| 75 | 2070 | -313 | -2185 | 1187 | -438 | <b>208</b> | <b>-3092</b> | <b>-1264</b> | ----- | 1476 | 18315 | 5403 | ----- |
| 76 | 2071 | -329 | -2192 | 1219 | -430 | 212        | -3106        | -1236        | ----- | 1473 | 18746 | 5937 | ----- |
| 77 | 2072 | -346 | -2200 | 1250 | -421 | 215        | -3120        | -1207        | ----- | 1496 | 19087 | 5433 | ----- |
| 78 | 2073 | -362 | -2207 | 1282 | -412 | 218        | -3134        | -1178        | ----- | 1536 | 19338 | 5906 | ----- |
| 79 | 2074 | -379 | -2215 | 1314 | -404 | 222        | -3147        | -1150        | ----- | 1558 | 19538 | 5818 | ----- |
| 80 | 2075 | -395 | -2222 | 1345 | -395 | <b>225</b> | <b>-3161</b> | <b>-1121</b> | ----- | 1559 | 19753 | 5672 | ----- |

|            |             |      |       |      |      |             |              |              |       |      |       |      |       |
|------------|-------------|------|-------|------|------|-------------|--------------|--------------|-------|------|-------|------|-------|
| <b>81</b>  | <b>2076</b> | -372 | -2424 | 1083 | -462 | 197         | -3151        | -1134        | ----- | 1574 | 20042 | 6185 | ----- |
| <b>82</b>  | <b>2077</b> | -357 | -2364 | 1109 | -456 | 168         | -3141        | -1147        | ----- | 1616 | 20438 | 5680 | ----- |
| <b>83</b>  | <b>2078</b> | -343 | -2305 | 1135 | -450 | 139         | -3131        | -1159        | ----- | 1651 | 20931 | 6183 | ----- |
| <b>84</b>  | <b>2079</b> | -328 | -2245 | 1161 | -444 | 111         | -3121        | -1172        | ----- | 1658 | 21475 | 6054 | ----- |
| <b>85</b>  | <b>2080</b> | -313 | -2185 | 1187 | -438 | <b>82</b>   | <b>-3111</b> | <b>-1185</b> | ----- | 1667 | 22003 | 5956 | ----- |
| <b>86</b>  | <b>2081</b> | -329 | -2192 | 1219 | -430 | 86          | -3125        | -1156        | ----- | 1703 | 22460 | 6439 | ----- |
| <b>87</b>  | <b>2082</b> | -346 | -2200 | 1250 | -421 | 89          | -3139        | -1128        | ----- | 1745 | 22822 | 5943 | ----- |
| <b>88</b>  | <b>2083</b> | -362 | -2207 | 1282 | -412 | 93          | -3152        | -1099        | ----- | 1761 | 23109 | 6469 | ----- |
| <b>89</b>  | <b>2084</b> | -379 | -2215 | 1314 | -404 | 96          | -3166        | -1070        | ----- | 1763 | 23376 | 6302 | ----- |
| <b>90</b>  | <b>2085</b> | -395 | -2222 | 1345 | -395 | <b>99</b>   | <b>-3180</b> | <b>-1042</b> | ----- | 1788 | 23689 | 6253 | ----- |
| <b>91</b>  | <b>2086</b> | -372 | -2424 | 1083 | -462 | 71          | -3170        | -1055        | ----- | 1832 | 24098 | 6700 | ----- |
| <b>92</b>  | <b>2087</b> | -357 | -2364 | 1109 | -456 | 42          | -3160        | -1067        | ----- | 1856 | 24616 | 6225 | ----- |
| <b>93</b>  | <b>2088</b> | -343 | -2305 | 1135 | -450 | 14          | -3150        | -1080        | ----- | 1856 | 25214 | 6762 | ----- |
| <b>94</b>  | <b>2089</b> | -328 | -2245 | 1161 | -444 | -15         | -3140        | -1093        | ----- | 1868 | 25834 | 6564 | ----- |
| <b>95</b>  | <b>2090</b> | -313 | -2185 | 1187 | -438 | <b>-44</b>  | <b>-3130</b> | <b>-1105</b> | ----- | 1906 | 26411 | 6565 | ----- |
| <b>96</b>  | <b>2091</b> | -329 | -2192 | 1219 | -430 | -40         | -3144        | -1077        | ----- | 1938 | 26901 | 6969 | ----- |
| <b>97</b>  | <b>2092</b> | -346 | -2200 | 1250 | -421 | -37         | -3157        | -1048        | ----- | 1941 | 27303 | 6524 | ----- |
| <b>98</b>  | <b>2093</b> | -362 | -2207 | 1282 | -412 | -33         | -3171        | -1020        | ----- | 1942 | 27654 | 7063 | ----- |
| <b>99</b>  | <b>2094</b> | -379 | -2215 | 1314 | -404 | -30         | -3185        | -991         | ----- | 1970 | 28017 | 6841 | ----- |
| <b>100</b> | <b>2095</b> | -395 | -2222 | 1345 | -395 | <b>-26</b>  | <b>-3199</b> | <b>-962</b>  | ----- | 2007 | 28454 | 6890 | ----- |
| <b>101</b> | <b>2096</b> | -372 | -2424 | 1083 | -462 | -55         | -3189        | -975         | ----- | 2018 | 29001 | 7248 | ----- |
| <b>102</b> | <b>2097</b> | -357 | -2364 | 1109 | -456 | -84         | -3179        | -988         | ----- | 2014 | 29649 | 6842 | ----- |
| <b>103</b> | <b>2098</b> | -343 | -2305 | 1135 | -450 | -112        | -3169        | -1000        | ----- | 2033 | 30355 | 7372 | ----- |
| <b>104</b> | <b>2099</b> | -328 | -2245 | 1161 | -444 | -141        | -3159        | -1013        | ----- | 2072 | 31053 | 7135 | ----- |
| <b>105</b> | <b>2100</b> | -313 | -2185 | 1187 | -438 | <b>-170</b> | <b>-3149</b> | <b>-1026</b> | ----- | 2095 | 31684 | 7229 | ----- |

Tabela B.2 – Concentrações de dióxido de carbono atmosférico (Cenário Primeiro)

| No | ANO  | ARMAZENAMENTO ATMOSFERICO ANUAL |           |          |       | ppm     |       |
|----|------|---------------------------------|-----------|----------|-------|---------|-------|
|    |      | TgC/ANO                         |           |          |       | TEORICO |       |
|    |      | BOREAL                          | TEMPERADA | TROPICAL | POLAR | INCREM  | [CO2] |
| 0  | 1995 | 1489                            | -929      | 2264     | -468  | 1,11    | 362   |
| 1  | 1996 | 1474                            | -886      | 2199     | -462  | 1,10    | 363   |
| 2  | 1997 | 1446                            | -649      | 2290     | -456  | 1,24    | 364   |
| 3  | 1998 | 1442                            | -550      | 2335     | -450  | 1,31    | 365   |
| 4  | 1999 | 1458                            | -427      | 2327     | -444  | 1,37    | 367   |
| 5  | 2000 | 1457                            | -165      | 2431     | -438  | 1,55    | 368   |
| 6  | 2001 | 1434                            | -139      | 2461     | -430  | 1,57    | 370   |
| 7  | 2002 | 1422                            | -58       | 2585     | -421  | 1,66    | 371   |
| 8  | 2003 | 1439                            | 96        | 2655     | -412  | 1,78    | 373   |
| 9  | 2004 | 1451                            | 256       | 2748     | -404  | 1,91    | 375   |
| 10 | 2005 | 1436                            | 358       | 2836     | -395  | 2,00    | 377   |
| 11 | 2006 | 1427                            | 205       | 2585     | -462  | 1,77    | 379   |
| 12 | 2007 | 1437                            | 253       | 2639     | -456  | 1,83    | 381   |
| 13 | 2008 | 1457                            | 295       | 2650     | -450  | 1,86    | 383   |
| 14 | 2009 | 1451                            | 393       | 2744     | -444  | 1,95    | 384   |
| 15 | 2010 | 1429                            | 587       | 2723     | -438  | 2,03    | 387   |
| 16 | 2011 | 1429                            | 788       | 2867     | -430  | 2,20    | 389   |
| 17 | 2012 | 1449                            | 1049      | 2936     | -421  | 2,36    | 391   |
| 18 | 2013 | 1452                            | 1306      | 2993     | -412  | 2,52    | 394   |
| 19 | 2014 | 1429                            | 1497      | 3172     | -404  | 2,69    | 396   |
| 20 | 2015 | 1416                            | 1589      | 3139     | -395  | 2,71    | 399   |
| 21 | 2016 | 1437                            | 1419      | 3011     | -462  | 2,55    | 402   |
| 22 | 2017 | 1446                            | 1466      | 2992     | -456  | 2,57    | 404   |
| 23 | 2018 | 1426                            | 1535      | 3011     | -450  | 2,60    | 407   |
| 24 | 2019 | 1402                            | 1682      | 3174     | -444  | 2,74    | 409   |
| 25 | 2020 | 1403                            | 1932      | 3040     | -438  | 2,80    | 412   |
| 26 | 2021 | 1416                            | 2177      | 3312     | -430  | 3,05    | 415   |
| 27 | 2022 | 1404                            | 2455      | 3293     | -421  | 3,17    | 418   |
| 28 | 2023 | 1374                            | 2699      | 3378     | -412  | 3,32    | 422   |
| 29 | 2024 | 1364                            | 2859      | 3608     | -404  | 3,50    | 425   |
| 30 | 2025 | 1377                            | 2920      | 3473     | -395  | 3,48    | 429   |
| 31 | 2026 | 1383                            | 2738      | 3472     | -462  | 3,36    | 432   |
| 32 | 2027 | 1355                            | 2804      | 3354     | -456  | 3,33    | 435   |
| 33 | 2028 | 1336                            | 2922      | 3421     | -450  | 3,41    | 439   |
| 34 | 2029 | 1345                            | 3137      | 3614     | -444  | 3,61    | 442   |
| 35 | 2030 | 1354                            | 3453      | 3393     | -438  | 3,66    | 446   |
| 36 | 2031 | 1336                            | 3743      | 3788     | -430  | 3,98    | 450   |
| 37 | 2032 | 1313                            | 4035      | 3662     | -421  | 4,05    | 454   |
| 38 | 2033 | 1318                            | 4268      | 3812     | -412  | 4,24    | 458   |
| 39 | 2034 | 1336                            | 4405      | 4052     | -404  | 4,43    | 463   |
| 40 | 2035 | 1332                            | 4451      | 3848     | -395  | 4,36    | 467   |
| 41 | 2036 | 1318                            | 4281      | 3963     | -462  | 4,29    | 472   |
| 42 | 2037 | 1316                            | 4391      | 3734     | -456  | 4,24    | 476   |
| 43 | 2038 | 1338                            | 4578      | 3880     | -450  | 4,41    | 480   |
| 44 | 2039 | 1347                            | 4870      | 4063     | -444  | 4,64    | 485   |
| 45 | 2040 | 1331                            | 5252      | 3792     | -438  | 4,69    | 489   |
| 46 | 2041 | 1322                            | 5581      | 4291     | -430  | 5,08    | 495   |
| 47 | 2042 | 1342                            | 5883      | 4054     | -421  | 5,12    | 500   |
| 48 | 2043 | 1363                            | 6104      | 4296     | -412  | 5,35    | 505   |
| 49 | 2044 | 1356                            | 6226      | 4506     | -404  | 5,51    | 511   |
| 50 | 2045 | 1341                            | 6276      | 4272     | -395  | 5,42    | 516   |
| 51 | 2046 | 1359                            | 6139      | 4477     | -462  | 5,43    | 521   |
| 52 | 2047 | 1383                            | 6313      | 4141     | -456  | 5,37    | 527   |
| 53 | 2048 | 1385                            | 6583      | 4388     | -450  | 5,62    | 532   |
| 54 | 2049 | 1365                            | 6957      | 4523     | -444  | 5,85    | 538   |
| 55 | 2050 | 1363                            | 7400      | 4244     | -438  | 5,93    | 544   |
| 56 | 2051 | 1385                            | 7761      | 4816     | -430  | 6,38    | 551   |
| 57 | 2052 | 1394                            | 8067      | 4480     | -421  | 6,38    | 557   |
| 58 | 2053 | 1376                            | 8280      | 4827     | -412  | 6,64    | 564   |
| 59 | 2054 | 1362                            | 8402      | 4974     | -404  | 6,76    | 570   |
| 60 | 2055 | 1375                            | 8476      | 4754     | -395  | 6,70    | 577   |

|     |      |      |       |      |      |       |      |
|-----|------|------|-------|------|------|-------|------|
| 61  | 2056 | 1398 | 8394  | 5011 | -462 | 6,76  | 584  |
| 62  | 2057 | 1384 | 8651  | 4588 | -456 | 6,68  | 590  |
| 63  | 2058 | 1361 | 9013  | 4940 | -450 | 7,01  | 597  |
| 64  | 2059 | 1362 | 9469  | 5000 | -444 | 7,26  | 605  |
| 65  | 2060 | 1379 | 9969  | 4755 | -438 | 7,39  | 612  |
| 66  | 2061 | 1376 | 10355 | 5359 | -430 | 7,86  | 620  |
| 67  | 2062 | 1352 | 10665 | 4950 | -421 | 7,80  | 628  |
| 68  | 2063 | 1344 | 10879 | 5399 | -412 | 8,12  | 636  |
| 69  | 2064 | 1361 | 11018 | 5462 | -404 | 8,23  | 644  |
| 70  | 2065 | 1370 | 11139 | 5295 | -395 | 8,21  | 652  |
| 71  | 2066 | 1360 | 11136 | 5563 | -462 | 8,30  | 661  |
| 72  | 2067 | 1344 | 11491 | 5085 | -456 | 8,24  | 669  |
| 73  | 2068 | 1358 | 11952 | 5532 | -450 | 8,68  | 678  |
| 74  | 2069 | 1378 | 12488 | 5503 | -444 | 8,93  | 686  |
| 75  | 2070 | 1371 | 13038 | 5326 | -438 | 9,10  | 696  |
| 76  | 2071 | 1356 | 13448 | 5920 | -430 | 9,57  | 705  |
| 77  | 2072 | 1365 | 13768 | 5476 | -421 | 9,52  | 715  |
| 78  | 2073 | 1393 | 13997 | 6009 | -412 | 9,90  | 725  |
| 79  | 2074 | 1402 | 14176 | 5982 | -404 | 9,98  | 735  |
| 80  | 2075 | 1389 | 14369 | 5896 | -395 | 10,03 | 745  |
| 81  | 2076 | 1399 | 14466 | 6133 | -462 | 10,16 | 755  |
| 82  | 2077 | 1427 | 14932 | 5642 | -456 | 10,16 | 765  |
| 83  | 2078 | 1448 | 15496 | 6159 | -450 | 10,69 | 776  |
| 84  | 2079 | 1442 | 16109 | 6043 | -444 | 10,92 | 787  |
| 85  | 2080 | 1436 | 16707 | 5958 | -438 | 11,16 | 798  |
| 86  | 2081 | 1459 | 17143 | 6502 | -430 | 11,64 | 809  |
| 87  | 2082 | 1489 | 17483 | 6066 | -421 | 11,61 | 821  |
| 88  | 2083 | 1491 | 17749 | 6652 | -412 | 12,02 | 833  |
| 89  | 2084 | 1481 | 17995 | 6545 | -404 | 12,08 | 845  |
| 90  | 2085 | 1493 | 18287 | 6557 | -395 | 12,24 | 857  |
| 91  | 2086 | 1530 | 18504 | 6728 | -462 | 12,41 | 870  |
| 92  | 2087 | 1541 | 19091 | 6266 | -456 | 12,47 | 882  |
| 93  | 2088 | 1527 | 19760 | 6817 | -450 | 13,04 | 895  |
| 94  | 2089 | 1525 | 20449 | 6632 | -444 | 13,28 | 908  |
| 95  | 2090 | 1549 | 21096 | 6647 | -438 | 13,61 | 922  |
| 96  | 2091 | 1568 | 21565 | 7111 | -430 | 14,06 | 936  |
| 97  | 2092 | 1558 | 21946 | 6727 | -421 | 14,06 | 950  |
| 98  | 2093 | 1546 | 22275 | 7326 | -412 | 14,50 | 965  |
| 99  | 2094 | 1562 | 22617 | 7164 | -404 | 14,59 | 979  |
| 100 | 2095 | 1586 | 23033 | 7274 | -395 | 14,86 | 994  |
| 101 | 2096 | 1591 | 23388 | 7355 | -462 | 15,03 | 1009 |
| 102 | 2097 | 1573 | 24106 | 6963 | -456 | 15,18 | 1024 |
| 103 | 2098 | 1578 | 24882 | 7507 | -450 | 15,81 | 1040 |
| 104 | 2099 | 1604 | 25649 | 7283 | -444 | 16,08 | 1056 |
| 105 | 2100 | 1613 | 26351 | 7390 | -438 | 16,47 | 1073 |

## **ANEXO C**

Tabela C.1 – Valores dos fluxos do ciclo de carbono (Cenário Segundo)

Tabela C.2 – Concentrações de dióxido de carbono atmosférico (Cenário).

Tabela C.1 – Valores dos fluxos do ciclo de carbono (Cenário Segundo).

| No | ANO  | FLUXO OCEANICO TEORICO |           |          |       | FLUXO ECOSSITEMA TERRESTRE TEORICO |           |          |       | FLUXO ANTROPOGENICO |           |          |       |
|----|------|------------------------|-----------|----------|-------|------------------------------------|-----------|----------|-------|---------------------|-----------|----------|-------|
|    |      | TgC/ANO                |           |          |       | TgC/ANO                            |           |          |       | TgC/ANO             |           |          |       |
|    |      | BOREAL                 | TEMPERADA | TROPICAL | POLAR | BOREAL                             | TEMPERADA | TROPICAL | POLAR | BOREAL              | TEMPERADA | TROPICAL | POLAR |
| 0  | 1995 | -387                   | -2484     | 1056     | -468  | 1231                               | -3009     | -1757    | ----- | 644                 | 4564      | 2965     | ----- |
| 1  | 1996 | -372                   | -2424     | 1083     | -462  | 1203                               | -3000     | -1770    | ----- | 643                 | 4538      | 2886     | ----- |
| 2  | 1997 | -357                   | -2364     | 1109     | -456  | 1175                               | -2990     | -1782    | ----- | 628                 | 4705      | 2964     | ----- |
| 3  | 1998 | -343                   | -2305     | 1135     | -450  | 1147                               | -2980     | -1795    | ----- | 637                 | 4735      | 2995     | ----- |
| 4  | 1999 | -328                   | -2245     | 1161     | -444  | 1119                               | -2970     | -1808    | ----- | 667                 | 4788      | 2974     | ----- |
| 5  | 2000 | -313                   | -2185     | 1187     | -438  | 1090                               | -2961     | -1821    | ----- | 680                 | 4981      | 3065     | ----- |
| 6  | 2001 | -329                   | -2192     | 1219     | -430  | 1093                               | -2974     | -1792    | ----- | 670                 | 5028      | 3034     | ----- |
| 7  | 2002 | -346                   | -2200     | 1250     | -421  | 1096                               | -2988     | -1763    | ----- | 672                 | 5130      | 3098     | ----- |
| 8  | 2003 | -362                   | -2207     | 1282     | -412  | 1099                               | -3001     | -1735    | ----- | 702                 | 5305      | 3108     | ----- |
| 9  | 2004 | -379                   | -2215     | 1314     | -404  | 1103                               | -3015     | -1706    | ----- | 727                 | 5486      | 3141     | ----- |
| 10 | 2005 | -395                   | -2222     | 1345     | -395  | 1106                               | -3028     | -1678    | ----- | 725                 | 5608      | 3168     | ----- |
| 11 | 2006 | -372                   | -2424     | 1083     | -462  | 1077                               | -3019     | -1690    | ----- | 721                 | 5648      | 3193     | ----- |
| 12 | 2007 | -357                   | -2364     | 1109     | -456  | 1049                               | -3009     | -1703    | ----- | 745                 | 5626      | 3234     | ----- |
| 13 | 2008 | -343                   | -2305     | 1135     | -450  | 1021                               | -2999     | -1716    | ----- | 612                 | 4205      | 3231     | ----- |
| 14 | 2009 | -328                   | -2245     | 1161     | -444  | 993                                | -2989     | -1728    | ----- | 605                 | 4161      | 3311     | ----- |
| 15 | 2010 | -313                   | -2185     | 1187     | -438  | 964                                | -2979     | -1741    | ----- | 599                 | 4117      | 3277     | ----- |
| 16 | 2011 | -329                   | -2192     | 1219     | -430  | 967                                | -2993     | -1713    | ----- | 592                 | 4073      | 3361     | ----- |
| 17 | 2012 | -346                   | -2200     | 1250     | -421  | 971                                | -3007     | -1684    | ----- | 586                 | 4028      | 3369     | ----- |
| 18 | 2013 | -362                   | -2207     | 1282     | -412  | 974                                | -3020     | -1655    | ----- | 586                 | 4028      | 3366     | ----- |
| 19 | 2014 | -379                   | -2215     | 1314     | -404  | 977                                | -3034     | -1627    | ----- | 586                 | 4028      | 3485     | ----- |
| 20 | 2015 | -395                   | -2222     | 1345     | -395  | 980                                | -3047     | -1598    | ----- | 586                 | 4028      | 3392     | ----- |
| 21 | 2016 | -372                   | -2424     | 1083     | -462  | 952                                | -3037     | -1611    | ----- | 586                 | 4028      | 3539     | ----- |
| 22 | 2017 | -357                   | -2364     | 1109     | -456  | 923                                | -3028     | -1624    | ----- | 586                 | 4028      | 3507     | ----- |
| 23 | 2018 | -343                   | -2305     | 1135     | -450  | 895                                | -3018     | -1636    | ----- | 586                 | 4028      | 3513     | ----- |
| 24 | 2019 | -328                   | -2245     | 1161     | -444  | 867                                | -3008     | -1649    | ----- | 586                 | 4028      | 3662     | ----- |
| 25 | 2020 | -313                   | -2185     | 1187     | -438  | 838                                | -2998     | -1662    | ----- | 586                 | 4028      | 3514     | ----- |
| 26 | 2021 | -329                   | -2192     | 1219     | -430  | 841                                | -3012     | -1633    | ----- | 586                 | 4028      | 3726     | ----- |
| 27 | 2022 | -346                   | -2200     | 1250     | -421  | 845                                | -3025     | -1604    | ----- | 586                 | 4028      | 3647     | ----- |
| 28 | 2023 | -362                   | -2207     | 1282     | -412  | 848                                | -3039     | -1576    | ----- | 586                 | 4028      | 3671     | ----- |
| 29 | 2024 | -379                   | -2215     | 1314     | -404  | 851                                | -3053     | -1547    | ----- | 586                 | 4028      | 3841     | ----- |
| 30 | 2025 | -395                   | -2222     | 1345     | -395  | 854                                | -3066     | -1519    | ----- | 586                 | 4028      | 3646     | ----- |
| 31 | 2026 | -372                   | -2424     | 1083     | -462  | 826                                | -3056     | -1531    | ----- | 586                 | 4028      | 3921     | ----- |
| 32 | 2027 | -357                   | -2364     | 1109     | -456  | 797                                | -3047     | -1544    | ----- | 586                 | 4028      | 3790     | ----- |
| 33 | 2028 | -343                   | -2305     | 1135     | -450  | 769                                | -3037     | -1557    | ----- | 586                 | 4028      | 3843     | ----- |
| 34 | 2029 | -328                   | -2245     | 1161     | -444  | 741                                | -3027     | -1569    | ----- | 586                 | 4028      | 4023     | ----- |
| 35 | 2030 | -313                   | -2185     | 1187     | -438  | 712                                | -3017     | -1582    | ----- | 586                 | 4028      | 3788     | ----- |
| 36 | 2031 | -329                   | -2192     | 1219     | -430  | 716                                | -3031     | -1554    | ----- | 586                 | 4028      | 4123     | ----- |
| 37 | 2032 | -346                   | -2200     | 1250     | -421  | 719                                | -3044     | -1525    | ----- | 586                 | 4028      | 3937     | ----- |
| 38 | 2033 | -362                   | -2207     | 1282     | -412  | 722                                | -3058     | -1496    | ----- | 586                 | 4028      | 4026     | ----- |
| 39 | 2034 | -379                   | -2215     | 1314     | -404  | 725                                | -3072     | -1468    | ----- | 586                 | 4028      | 4206     | ----- |
| 40 | 2035 | -395                   | -2222     | 1345     | -395  | 728                                | -3085     | -1439    | ----- | 586                 | 4028      | 3941     | ----- |

|    |      |      |       |      |      |            |              |              |       |     |      |      |       |
|----|------|------|-------|------|------|------------|--------------|--------------|-------|-----|------|------|-------|
| 41 | 2036 | -372 | -2424 | 1083 | -462 | 700        | -3075        | -1452        | ----- | 586 | 4028 | 4332 | ----- |
| 42 | 2037 | -357 | -2364 | 1109 | -456 | 671        | -3065        | -1465        | ----- | 586 | 4028 | 4090 | ----- |
| 43 | 2038 | -343 | -2305 | 1135 | -450 | 643        | -3056        | -1477        | ----- | 586 | 4028 | 4223 | ----- |
| 44 | 2039 | -328 | -2245 | 1161 | -444 | 615        | -3046        | -1490        | ----- | 586 | 4028 | 4392 | ----- |
| 45 | 2040 | -313 | -2185 | 1187 | -438 | <b>586</b> | <b>-3036</b> | <b>-1503</b> | ----- | 586 | 4028 | 4107 | ----- |
| 46 | 2041 | -329 | -2192 | 1219 | -430 | 590        | -3049        | -1474        | ----- | 586 | 4028 | 4547 | ----- |
| 47 | 2042 | -346 | -2200 | 1250 | -421 | 593        | -3063        | -1446        | ----- | 586 | 4028 | 4249 | ----- |
| 48 | 2043 | -362 | -2207 | 1282 | -412 | 596        | -3077        | -1417        | ----- | 586 | 4028 | 4431 | ----- |
| 49 | 2044 | -379 | -2215 | 1314 | -404 | 599        | -3091        | -1388        | ----- | 586 | 4028 | 4580 | ----- |
| 50 | 2045 | -395 | -2222 | 1345 | -395 | <b>603</b> | <b>-3104</b> | <b>-1360</b> | ----- | 586 | 4028 | 4287 | ----- |
| 51 | 2046 | -372 | -2424 | 1083 | -462 | 574        | -3094        | -1372        | ----- | 586 | 4028 | 4767 | ----- |
| 52 | 2047 | -357 | -2364 | 1109 | -456 | 546        | -3084        | -1385        | ----- | 586 | 4028 | 4418 | ----- |
| 53 | 2048 | -343 | -2305 | 1135 | -450 | 517        | -3074        | -1398        | ----- | 586 | 4028 | 4651 | ----- |
| 54 | 2049 | -328 | -2245 | 1161 | -444 | 489        | -3065        | -1411        | ----- | 586 | 4028 | 4772 | ----- |
| 55 | 2050 | -313 | -2185 | 1187 | -438 | <b>460</b> | <b>-3055</b> | <b>-1423</b> | ----- | 586 | 4028 | 4480 | ----- |
| 56 | 2051 | -329 | -2192 | 1219 | -430 | 464        | -3068        | -1395        | ----- | 586 | 4028 | 4992 | ----- |
| 57 | 2052 | -346 | -2200 | 1250 | -421 | 467        | -3082        | -1366        | ----- | 586 | 4028 | 4595 | ----- |
| 58 | 2053 | -362 | -2207 | 1282 | -412 | 470        | -3096        | -1337        | ----- | 586 | 4028 | 4882 | ----- |
| 59 | 2054 | -379 | -2215 | 1314 | -404 | 473        | -3109        | -1309        | ----- | 586 | 4028 | 4969 | ----- |
| 60 | 2055 | -395 | -2222 | 1345 | -395 | <b>477</b> | <b>-3123</b> | <b>-1280</b> | ----- | 586 | 4028 | 4688 | ----- |
| 61 | 2056 | -372 | -2424 | 1083 | -462 | 448        | -3113        | -1293        | ----- | 586 | 4028 | 5221 | ----- |
| 62 | 2057 | -357 | -2364 | 1109 | -456 | 420        | -3103        | -1306        | ----- | 586 | 4028 | 4785 | ----- |
| 63 | 2058 | -343 | -2305 | 1135 | -450 | 391        | -3093        | -1318        | ----- | 586 | 4028 | 5124 | ----- |
| 64 | 2059 | -328 | -2245 | 1161 | -444 | 363        | -3083        | -1331        | ----- | 586 | 4028 | 5170 | ----- |
| 65 | 2060 | -313 | -2185 | 1187 | -438 | <b>334</b> | <b>-3073</b> | <b>-1344</b> | ----- | 586 | 4028 | 4911 | ----- |
| 66 | 2061 | -329 | -2192 | 1219 | -430 | 338        | -3087        | -1315        | ----- | 586 | 4028 | 5455 | ----- |
| 67 | 2062 | -346 | -2200 | 1250 | -421 | 341        | -3101        | -1287        | ----- | 586 | 4028 | 4986 | ----- |
| 68 | 2063 | -362 | -2207 | 1282 | -412 | 344        | -3115        | -1258        | ----- | 586 | 4028 | 5375 | ----- |
| 69 | 2064 | -379 | -2215 | 1314 | -404 | 348        | -3128        | -1229        | ----- | 586 | 4028 | 5378 | ----- |
| 70 | 2065 | -395 | -2222 | 1345 | -395 | <b>351</b> | <b>-3142</b> | <b>-1201</b> | ----- | 586 | 4028 | 5150 | ----- |
| 71 | 2066 | -372 | -2424 | 1083 | -462 | 322        | -3132        | -1213        | ----- | 586 | 4028 | 5694 | ----- |
| 72 | 2067 | -357 | -2364 | 1109 | -456 | 294        | -3122        | -1226        | ----- | 586 | 4028 | 5202 | ----- |
| 73 | 2068 | -343 | -2305 | 1135 | -450 | 265        | -3112        | -1239        | ----- | 586 | 4028 | 5636 | ----- |
| 74 | 2069 | -328 | -2245 | 1161 | -444 | 237        | -3102        | -1252        | ----- | 586 | 4028 | 5594 | ----- |
| 75 | 2070 | -313 | -2185 | 1187 | -438 | <b>208</b> | <b>-3092</b> | <b>-1264</b> | ----- | 586 | 4028 | 5403 | ----- |
| 76 | 2071 | -329 | -2192 | 1219 | -430 | 212        | -3106        | -1236        | ----- | 586 | 4028 | 5937 | ----- |
| 77 | 2072 | -346 | -2200 | 1250 | -421 | 215        | -3120        | -1207        | ----- | 586 | 4028 | 5433 | ----- |
| 78 | 2073 | -362 | -2207 | 1282 | -412 | 218        | -3134        | -1178        | ----- | 586 | 4028 | 5906 | ----- |
| 79 | 2074 | -379 | -2215 | 1314 | -404 | 222        | -3147        | -1150        | ----- | 586 | 4028 | 5818 | ----- |
| 80 | 2075 | -395 | -2222 | 1345 | -395 | <b>225</b> | <b>-3161</b> | <b>-1121</b> | ----- | 586 | 4028 | 5672 | ----- |



|            |             |      |       |      |      |             |              |              |       |     |      |      |       |
|------------|-------------|------|-------|------|------|-------------|--------------|--------------|-------|-----|------|------|-------|
| <b>81</b>  | <b>2076</b> | -372 | -2424 | 1083 | -462 | 197         | -3151        | -1134        | ----- | 586 | 4028 | 6185 | ----- |
| <b>82</b>  | <b>2077</b> | -357 | -2364 | 1109 | -456 | 168         | -3141        | -1147        | ----- | 586 | 4028 | 5680 | ----- |
| <b>83</b>  | <b>2078</b> | -343 | -2305 | 1135 | -450 | 139         | -3131        | -1159        | ----- | 586 | 4028 | 6183 | ----- |
| <b>84</b>  | <b>2079</b> | -328 | -2245 | 1161 | -444 | 111         | -3121        | -1172        | ----- | 586 | 4028 | 6054 | ----- |
| <b>85</b>  | <b>2080</b> | -313 | -2185 | 1187 | -438 | <b>82</b>   | <b>-3111</b> | <b>-1185</b> | ----- | 586 | 4028 | 5956 | ----- |
| <b>86</b>  | <b>2081</b> | -329 | -2192 | 1219 | -430 | 86          | -3125        | -1156        | ----- | 586 | 4028 | 6439 | ----- |
| <b>87</b>  | <b>2082</b> | -346 | -2200 | 1250 | -421 | 89          | -3139        | -1128        | ----- | 586 | 4028 | 5943 | ----- |
| <b>88</b>  | <b>2083</b> | -362 | -2207 | 1282 | -412 | 93          | -3152        | -1099        | ----- | 586 | 4028 | 6469 | ----- |
| <b>89</b>  | <b>2084</b> | -379 | -2215 | 1314 | -404 | 96          | -3166        | -1070        | ----- | 586 | 4028 | 6302 | ----- |
| <b>90</b>  | <b>2085</b> | -395 | -2222 | 1345 | -395 | <b>99</b>   | <b>-3180</b> | <b>-1042</b> | ----- | 586 | 4028 | 6253 | ----- |
| <b>91</b>  | <b>2086</b> | -372 | -2424 | 1083 | -462 | 71          | -3170        | -1055        | ----- | 586 | 4028 | 6700 | ----- |
| <b>92</b>  | <b>2087</b> | -357 | -2364 | 1109 | -456 | 42          | -3160        | -1067        | ----- | 586 | 4028 | 6225 | ----- |
| <b>93</b>  | <b>2088</b> | -343 | -2305 | 1135 | -450 | 14          | -3150        | -1080        | ----- | 586 | 4028 | 6762 | ----- |
| <b>94</b>  | <b>2089</b> | -328 | -2245 | 1161 | -444 | -15         | -3140        | -1093        | ----- | 586 | 4028 | 6564 | ----- |
| <b>95</b>  | <b>2090</b> | -313 | -2185 | 1187 | -438 | <b>-44</b>  | <b>-3130</b> | <b>-1105</b> | ----- | 586 | 4028 | 6565 | ----- |
| <b>96</b>  | <b>2091</b> | -329 | -2192 | 1219 | -430 | -40         | -3144        | -1077        | ----- | 586 | 4028 | 6969 | ----- |
| <b>97</b>  | <b>2092</b> | -346 | -2200 | 1250 | -421 | -37         | -3157        | -1048        | ----- | 586 | 4028 | 6524 | ----- |
| <b>98</b>  | <b>2093</b> | -362 | -2207 | 1282 | -412 | -33         | -3171        | -1020        | ----- | 586 | 4028 | 7063 | ----- |
| <b>99</b>  | <b>2094</b> | -379 | -2215 | 1314 | -404 | -30         | -3185        | -991         | ----- | 586 | 4028 | 6841 | ----- |
| <b>100</b> | <b>2095</b> | -395 | -2222 | 1345 | -395 | <b>-26</b>  | <b>-3199</b> | <b>-962</b>  | ----- | 586 | 4028 | 6890 | ----- |
| <b>101</b> | <b>2096</b> | -372 | -2424 | 1083 | -462 | -55         | -3189        | -975         | ----- | 586 | 4028 | 7248 | ----- |
| <b>102</b> | <b>2097</b> | -357 | -2364 | 1109 | -456 | -84         | -3179        | -988         | ----- | 586 | 4028 | 6842 | ----- |
| <b>103</b> | <b>2098</b> | -343 | -2305 | 1135 | -450 | -112        | -3169        | -1000        | ----- | 586 | 4028 | 7372 | ----- |
| <b>104</b> | <b>2099</b> | -328 | -2245 | 1161 | -444 | -141        | -3159        | -1013        | ----- | 586 | 4028 | 7135 | ----- |
| <b>105</b> | <b>2100</b> | -313 | -2185 | 1187 | -438 | <b>-170</b> | <b>-3149</b> | <b>-1026</b> | ----- | 586 | 4028 | 7229 | ----- |

Tabela C.2 – Concentrações de dióxido de carbono atmosférico (Cenário Segundo)

| No | ANO  | ARMAZENAMENTO ATMOSFERICO ANUAL |           |          |       | ppm     |       |
|----|------|---------------------------------|-----------|----------|-------|---------|-------|
|    |      | TgC/ANO                         |           |          |       | TEORICO |       |
|    |      | BOREAL                          | TEMPERADA | TROPICAL | POLAR | INCREM  | [CO2] |
| 0  | 1995 | 1489                            | -929      | 2264     | -468  | 1,11    | 362   |
| 1  | 1996 | 1474                            | -886      | 2199     | -462  | 1,10    | 363   |
| 2  | 1997 | 1446                            | -649      | 2290     | -456  | 1,24    | 364   |
| 3  | 1998 | 1442                            | -550      | 2335     | -450  | 1,31    | 365   |
| 4  | 1999 | 1458                            | -427      | 2327     | -444  | 1,37    | 367   |
| 5  | 2000 | 1457                            | -165      | 2431     | -438  | 1,55    | 368   |
| 6  | 2001 | 1434                            | -139      | 2461     | -430  | 1,57    | 370   |
| 7  | 2002 | 1422                            | -58       | 2585     | -421  | 1,66    | 371   |
| 8  | 2003 | 1439                            | 96        | 2655     | -412  | 1,78    | 373   |
| 9  | 2004 | 1451                            | 256       | 2748     | -404  | 1,91    | 375   |
| 10 | 2005 | 1436                            | 358       | 2836     | -395  | 2,00    | 377   |
| 11 | 2006 | 1427                            | 205       | 2585     | -462  | 1,77    | 379   |
| 12 | 2007 | 1437                            | 253       | 2639     | -456  | 1,83    | 381   |
| 13 | 2008 | 1290                            | -1098     | 2650     | -450  | 1,13    | 382   |
| 14 | 2009 | 1270                            | -1073     | 2744     | -444  | 1,18    | 383   |
| 15 | 2010 | 1250                            | -1048     | 2723     | -438  | 1,17    | 384   |
| 16 | 2011 | 1231                            | -1113     | 2867     | -430  | 1,21    | 385   |
| 17 | 2012 | 1211                            | -1178     | 2936     | -421  | 1,20    | 387   |
| 18 | 2013 | 1198                            | -1199     | 2993     | -412  | 1,22    | 388   |
| 19 | 2014 | 1184                            | -1220     | 3172     | -404  | 1,29    | 389   |
| 20 | 2015 | 1171                            | -1241     | 3139     | -395  | 1,26    | 390   |
| 21 | 2016 | 1165                            | -1433     | 3011     | -462  | 1,08    | 391   |
| 22 | 2017 | 1152                            | -1364     | 2992     | -456  | 1,10    | 392   |
| 23 | 2018 | 1138                            | -1294     | 3011     | -450  | 1,13    | 394   |
| 24 | 2019 | 1125                            | -1224     | 3174     | -444  | 1,24    | 395   |
| 25 | 2020 | 1111                            | -1155     | 3040     | -438  | 1,21    | 396   |
| 26 | 2021 | 1098                            | -1176     | 3312     | -430  | 1,32    | 397   |
| 27 | 2022 | 1085                            | -1197     | 3293     | -421  | 1,30    | 399   |
| 28 | 2023 | 1072                            | -1218     | 3378     | -412  | 1,33    | 400   |
| 29 | 2024 | 1058                            | -1239     | 3608     | -404  | 1,43    | 401   |
| 30 | 2025 | 1045                            | -1260     | 3473     | -395  | 1,35    | 403   |
| 31 | 2026 | 1040                            | -1452     | 3472     | -462  | 1,23    | 404   |
| 32 | 2027 | 1026                            | -1383     | 3354     | -456  | 1,20    | 405   |
| 33 | 2028 | 1013                            | -1313     | 3421     | -450  | 1,26    | 406   |
| 34 | 2029 | 999                             | -1243     | 3614     | -444  | 1,38    | 408   |
| 35 | 2030 | 985                             | -1174     | 3393     | -438  | 1,30    | 409   |
| 36 | 2031 | 972                             | -1195     | 3788     | -430  | 1,48    | 411   |
| 37 | 2032 | 959                             | -1216     | 3662     | -421  | 1,41    | 412   |
| 38 | 2033 | 946                             | -1237     | 3812     | -412  | 1,47    | 414   |
| 39 | 2034 | 933                             | -1258     | 4052     | -404  | 1,57    | 415   |
| 40 | 2035 | 919                             | -1279     | 3848     | -395  | 1,46    | 417   |
| 41 | 2036 | 914                             | -1471     | 3963     | -462  | 1,39    | 418   |
| 42 | 2037 | 900                             | -1401     | 3734     | -456  | 1,31    | 419   |
| 43 | 2038 | 887                             | -1332     | 3880     | -450  | 1,41    | 421   |
| 44 | 2039 | 873                             | -1262     | 4063     | -444  | 1,52    | 422   |
| 45 | 2040 | 859                             | -1192     | 3792     | -438  | 1,42    | 424   |
| 46 | 2041 | 846                             | -1214     | 4291     | -430  | 1,65    | 425   |
| 47 | 2042 | 833                             | -1235     | 4054     | -421  | 1,52    | 427   |
| 48 | 2043 | 820                             | -1256     | 4296     | -412  | 1,63    | 428   |
| 49 | 2044 | 807                             | -1277     | 4506     | -404  | 1,71    | 430   |
| 50 | 2045 | 794                             | -1298     | 4272     | -395  | 1,59    | 432   |
| 51 | 2046 | 788                             | -1490     | 4477     | -462  | 1,56    | 433   |
| 52 | 2047 | 774                             | -1420     | 4141     | -456  | 1,43    | 435   |
| 53 | 2048 | 761                             | -1351     | 4388     | -450  | 1,58    | 436   |
| 54 | 2049 | 747                             | -1281     | 4523     | -444  | 1,67    | 438   |
| 55 | 2050 | 733                             | -1211     | 4244     | -438  | 1,57    | 440   |
| 56 | 2051 | 720                             | -1232     | 4816     | -430  | 1,83    | 441   |
| 57 | 2052 | 707                             | -1254     | 4480     | -421  | 1,66    | 443   |
| 58 | 2053 | 694                             | -1275     | 4827     | -412  | 1,81    | 445   |
| 59 | 2054 | 681                             | -1296     | 4974     | -404  | 1,87    | 447   |
| 60 | 2055 | 668                             | -1317     | 4754     | -395  | 1,75    | 448   |

|     |      |     |       |      |      |      |     |
|-----|------|-----|-------|------|------|------|-----|
| 61  | 2056 | 662 | -1509 | 5011 | -462 | 1,75 | 450 |
| 62  | 2057 | 648 | -1439 | 4588 | -456 | 1,58 | 452 |
| 63  | 2058 | 635 | -1369 | 4940 | -450 | 1,77 | 454 |
| 64  | 2059 | 621 | -1300 | 5000 | -444 | 1,83 | 455 |
| 65  | 2060 | 607 | -1230 | 4755 | -438 | 1,74 | 457 |
| 66  | 2061 | 594 | -1251 | 5359 | -430 | 2,02 | 459 |
| 67  | 2062 | 581 | -1272 | 4950 | -421 | 1,81 | 461 |
| 68  | 2063 | 568 | -1294 | 5399 | -412 | 2,01 | 463 |
| 69  | 2064 | 555 | -1315 | 5462 | -404 | 2,03 | 465 |
| 70  | 2065 | 542 | -1336 | 5295 | -395 | 1,94 | 467 |
| 71  | 2066 | 536 | -1528 | 5563 | -462 | 1,94 | 469 |
| 72  | 2067 | 523 | -1458 | 5085 | -456 | 1,74 | 471 |
| 73  | 2068 | 509 | -1388 | 5532 | -450 | 1,98 | 473 |
| 74  | 2069 | 495 | -1319 | 5503 | -444 | 2,00 | 475 |
| 75  | 2070 | 481 | -1249 | 5326 | -438 | 1,94 | 476 |
| 76  | 2071 | 468 | -1270 | 5920 | -430 | 2,21 | 479 |
| 77  | 2072 | 455 | -1291 | 5476 | -421 | 1,99 | 481 |
| 78  | 2073 | 442 | -1312 | 6009 | -412 | 2,23 | 483 |
| 79  | 2074 | 429 | -1334 | 5982 | -404 | 2,20 | 485 |
| 80  | 2075 | 416 | -1355 | 5896 | -395 | 2,15 | 487 |
| 81  | 2076 | 411 | -1547 | 6133 | -462 | 2,14 | 489 |
| 82  | 2077 | 397 | -1477 | 5642 | -456 | 1,94 | 491 |
| 83  | 2078 | 383 | -1407 | 6159 | -450 | 2,21 | 494 |
| 84  | 2079 | 369 | -1337 | 6043 | -444 | 2,18 | 496 |
| 85  | 2080 | 355 | -1268 | 5958 | -438 | 2,17 | 498 |
| 86  | 2081 | 342 | -1289 | 6502 | -430 | 2,42 | 500 |
| 87  | 2082 | 329 | -1310 | 6066 | -421 | 2,20 | 503 |
| 88  | 2083 | 316 | -1331 | 6652 | -412 | 2,46 | 505 |
| 89  | 2084 | 304 | -1353 | 6545 | -404 | 2,40 | 507 |
| 90  | 2085 | 291 | -1374 | 6557 | -395 | 2,40 | 510 |
| 91  | 2086 | 285 | -1566 | 6728 | -462 | 2,35 | 512 |
| 92  | 2087 | 271 | -1496 | 6266 | -456 | 2,16 | 514 |
| 93  | 2088 | 257 | -1426 | 6817 | -450 | 2,45 | 517 |
| 94  | 2089 | 243 | -1356 | 6632 | -444 | 2,39 | 519 |
| 95  | 2090 | 229 | -1286 | 6647 | -438 | 2,43 | 522 |
| 96  | 2091 | 216 | -1308 | 7111 | -430 | 2,64 | 524 |
| 97  | 2092 | 204 | -1329 | 6727 | -421 | 2,44 | 527 |
| 98  | 2093 | 191 | -1350 | 7326 | -412 | 2,71 | 529 |
| 99  | 2094 | 178 | -1372 | 7164 | -404 | 2,63 | 532 |
| 100 | 2095 | 165 | -1393 | 7274 | -395 | 2,67 | 535 |
| 101 | 2096 | 159 | -1585 | 7355 | -462 | 2,58 | 537 |
| 102 | 2097 | 145 | -1515 | 6963 | -456 | 2,42 | 540 |
| 103 | 2098 | 131 | -1445 | 7507 | -450 | 2,71 | 542 |
| 104 | 2099 | 117 | -1375 | 7283 | -444 | 2,63 | 545 |
| 105 | 2100 | 103 | -1305 | 7390 | -438 | 2,71 | 548 |

## **ANEXO D**

Tabela D.1 – Valores dos fluxos do ciclo de carbono (Cenário Terceiro)

Tabela D.2 – Concentrações de dióxido de carbono atmosférico (Cenário Terceiro)

## ANEXO D

Tabela D.1 – Valores dos fluxos do ciclo de carbono (Cenário Terceiro)

| No | ANO  | FLUXO OCEANICO TEORICO |              |             |             | FLUXO ECOSISTEMA TERRESTRE TEORICO |              |              |       | FLUXO ANTROPOGENICO |           |          |       |
|----|------|------------------------|--------------|-------------|-------------|------------------------------------|--------------|--------------|-------|---------------------|-----------|----------|-------|
|    |      | TgC/ANO                |              |             |             | TgC/ANO                            |              |              |       | TgC/ANO             |           |          |       |
|    |      | BOREAL                 | TEMPERADA    | TROPICAL    | POLAR       | BOREAL                             | TEMPERADA    | TROPICAL     | POLAR | BOREAL              | TEMPERADA | TROPICAL | POLAR |
| 0  | 1995 | -387                   | -2484        | 1056        | -468        | 1231                               | -3009        | -1757        | ----- | 644                 | 4564      | 2965     | ----- |
| 1  | 1996 | -372                   | -2424        | 1083        | -462        | 1203                               | -3000        | -1770        | ----- | 643                 | 3987      | 2886     | ----- |
| 2  | 1997 | -357                   | -2364        | 1109        | -456        | 1175                               | -2990        | -1782        | ----- | 628                 | 4108      | 2964     | ----- |
| 3  | 1998 | -343                   | -2305        | 1135        | -450        | 1147                               | -2980        | -1795        | ----- | 637                 | 4134      | 2995     | ----- |
| 4  | 1999 | -328                   | -2245        | 1161        | -444        | 1119                               | -2970        | -1808        | ----- | 667                 | 4193      | 2974     | ----- |
| 5  | 2000 | <b>-313</b>            | <b>-2185</b> | <b>1187</b> | <b>-438</b> | <b>1090</b>                        | <b>-2961</b> | <b>-1821</b> | ----- | 680                 | 4359      | 3065     | ----- |
| 6  | 2001 | -329                   | -2192        | 1219        | -430        | 1093                               | -2974        | -1792        | ----- | 670                 | 4365      | 3034     | ----- |
| 7  | 2002 | -346                   | -2200        | 1250        | -421        | 1096                               | -2988        | -1763        | ----- | 672                 | 4392      | 3098     | ----- |
| 8  | 2003 | -362                   | -2207        | 1282        | -412        | 1099                               | -3001        | -1735        | ----- | 702                 | 4480      | 3108     | ----- |
| 9  | 2004 | -379                   | -2215        | 1314        | -404        | 1103                               | -3015        | -1706        | ----- | 727                 | 4601      | 3141     | ----- |
| 10 | 2005 | <b>-395</b>            | <b>-2222</b> | <b>1345</b> | <b>-395</b> | <b>1106</b>                        | <b>-3028</b> | <b>-1678</b> | ----- | 725                 | 4712      | 3168     | ----- |
| 11 | 2006 | -372                   | -2424        | 1083        | -462        | 1077                               | -3019        | -1690        | ----- | 721                 | 4774      | 3193     | ----- |
| 12 | 2007 | -357                   | -2364        | 1109        | -456        | 1049                               | -3009        | -1703        | ----- | 745                 | 4773      | 3234     | ----- |
| 13 | 2008 | -343                   | -2305        | 1135        | -450        | 1021                               | -2999        | -1716        | ----- | 778                 | 4736      | 3231     | ----- |
| 14 | 2009 | -328                   | -2245        | 1161        | -444        | 993                                | -2989        | -1728        | ----- | 786                 | 4722      | 3311     | ----- |
| 15 | 2010 | -313                   | -2185        | 1187        | -438        | <b>964</b>                         | <b>-2979</b> | <b>-1741</b> | ----- | 778                 | 4794      | 3277     | ----- |
| 16 | 2011 | -329                   | -2192        | 1219        | -430        | 967                                | -2993        | -1713        | ----- | 791                 | 4979      | 3361     | ----- |
| 17 | 2012 | -346                   | -2200        | 1250        | -421        | 971                                | -3007        | -1684        | ----- | 824                 | 5253      | 3369     | ----- |
| 18 | 2013 | -362                   | -2207        | 1282        | -412        | 974                                | -3020        | -1655        | ----- | 840                 | 5541      | 3366     | ----- |
| 19 | 2014 | -379                   | -2215        | 1314        | -404        | 977                                | -3034        | -1627        | ----- | 831                 | 5752      | 3485     | ----- |
| 20 | 2015 | <b>-395</b>            | <b>-2222</b> | <b>1345</b> | <b>-395</b> | <b>980</b>                         | <b>-3047</b> | <b>-1598</b> | ----- | 831                 | 5829      | 3392     | ----- |
| 21 | 2016 | -372                   | -2424        | 1083        | -462        | 952                                | -3037        | -1611        | ----- | 857                 | 5790      | 3539     | ----- |
| 22 | 2017 | -357                   | -2364        | 1109        | -456        | 923                                | -3028        | -1624        | ----- | 880                 | 5711      | 3507     | ----- |
| 23 | 2018 | -343                   | -2305        | 1135        | -450        | 895                                | -3018        | -1636        | ----- | 874                 | 5682      | 3513     | ----- |
| 24 | 2019 | -328                   | -2245        | 1161        | -444        | 867                                | -3008        | -1649        | ----- | 863                 | 5754      | 3662     | ----- |
| 25 | 2020 | -313                   | -2185        | 1187        | -438        | <b>838</b>                         | <b>-2998</b> | <b>-1662</b> | ----- | 878                 | 5920      | 3514     | ----- |
| 26 | 2021 | -329                   | -2192        | 1219        | -430        | 841                                | -3012        | -1633        | ----- | 904                 | 6126      | 3726     | ----- |
| 27 | 2022 | -346                   | -2200        | 1250        | -421        | 845                                | -3025        | -1604        | ----- | 905                 | 6305      | 3647     | ----- |
| 28 | 2023 | -362                   | -2207        | 1282        | -412        | 848                                | -3039        | -1576        | ----- | 888                 | 6416      | 3671     | ----- |
| 29 | 2024 | -379                   | -2215        | 1314        | -404        | 851                                | -3053        | -1547        | ----- | 892                 | 6463      | 3841     | ----- |
| 30 | 2025 | <b>-395</b>            | <b>-2222</b> | <b>1345</b> | <b>-395</b> | <b>854</b>                         | <b>-3066</b> | <b>-1519</b> | ----- | 918                 | 6481      | 3646     | ----- |
| 31 | 2026 | -372                   | -2424        | 1083        | -462        | 826                                | -3056        | -1531        | ----- | 929                 | 6496      | 3921     | ----- |
| 32 | 2027 | -357                   | -2364        | 1109        | -456        | 797                                | -3047        | -1544        | ----- | 915                 | 6521      | 3790     | ----- |
| 33 | 2028 | -343                   | -2305        | 1135        | -450        | 769                                | -3037        | -1557        | ----- | 909                 | 6562      | 3843     | ----- |
| 34 | 2029 | -328                   | -2245        | 1161        | -444        | 741                                | -3027        | -1569        | ----- | 932                 | 6632      | 4023     | ----- |
| 35 | 2030 | -313                   | -2185        | 1187        | -438        | <b>712</b>                         | <b>-3017</b> | <b>-1582</b> | ----- | 955                 | 6752      | 3788     | ----- |
| 36 | 2031 | -329                   | -2192        | 1219        | -430        | 716                                | -3031        | -1554        | ----- | 950                 | 6938      | 4123     | ----- |
| 37 | 2032 | -346                   | -2200        | 1250        | -421        | 719                                | -3044        | -1525        | ----- | 940                 | 7184      | 3937     | ----- |
| 38 | 2033 | -362                   | -2207        | 1282        | -412        | 722                                | -3058        | -1496        | ----- | 958                 | 7440      | 4026     | ----- |
| 39 | 2034 | -379                   | -2215        | 1314        | -404        | 725                                | -3072        | -1468        | ----- | 990                 | 7636      | 4206     | ----- |
| 40 | 2035 | <b>-395</b>            | <b>-2222</b> | <b>1345</b> | <b>-395</b> | <b>728</b>                         | <b>-3085</b> | <b>-1439</b> | ----- | 999                 | 7717      | 3941     | ----- |

|    |      |      |       |      |      |            |              |              |       |      |       |      |       |
|----|------|------|-------|------|------|------------|--------------|--------------|-------|------|-------|------|-------|
| 41 | 2036 | -372 | -2424 | 1083 | -462 | 700        | -3075        | -1452        | ----- | 990  | 7691  | 4332 | ----- |
| 42 | 2037 | -357 | -2364 | 1109 | -456 | 671        | -3065        | -1465        | ----- | 1002 | 7635  | 4090 | ----- |
| 43 | 2038 | -343 | -2305 | 1135 | -450 | 643        | -3056        | -1477        | ----- | 1037 | 7648  | 4223 | ----- |
| 44 | 2039 | -328 | -2245 | 1161 | -444 | 615        | -3046        | -1490        | ----- | 1060 | 7790  | 4392 | ----- |
| 45 | 2040 | -313 | -2185 | 1187 | -438 | <b>586</b> | <b>-3036</b> | <b>-1503</b> | ----- | 1058 | 8048  | 4107 | ----- |
| 46 | 2041 | -329 | -2192 | 1219 | -430 | 590        | -3049        | -1474        | ----- | 1062 | 8334  | 4547 | ----- |
| 47 | 2042 | -346 | -2200 | 1250 | -421 | 593        | -3063        | -1446        | ----- | 1095 | 8539  | 4249 | ----- |
| 48 | 2043 | -362 | -2207 | 1282 | -412 | 596        | -3077        | -1417        | ----- | 1129 | 8599  | 4431 | ----- |
| 49 | 2044 | -379 | -2215 | 1314 | -404 | 599        | -3091        | -1388        | ----- | 1135 | 8538  | 4580 | ----- |
| 50 | 2045 | -395 | -2222 | 1345 | -395 | <b>603</b> | <b>-3104</b> | <b>-1360</b> | ----- | 1133 | 8446  | 4287 | ----- |
| 51 | 2046 | -372 | -2424 | 1083 | -462 | 574        | -3094        | -1372        | ----- | 1157 | 8416  | 4767 | ----- |
| 52 | 2047 | -357 | -2364 | 1109 | -456 | 546        | -3084        | -1385        | ----- | 1195 | 8492  | 4418 | ----- |
| 53 | 2048 | -343 | -2305 | 1135 | -450 | 517        | -3074        | -1398        | ----- | 1210 | 8649  | 4651 | ----- |
| 54 | 2049 | -328 | -2245 | 1161 | -444 | 489        | -3065        | -1411        | ----- | 1204 | 8833  | 4772 | ----- |
| 55 | 2050 | -313 | -2185 | 1187 | -438 | <b>460</b> | <b>-3055</b> | <b>-1423</b> | ----- | 1216 | 8995  | 4480 | ----- |
| 56 | 2051 | -329 | -2192 | 1219 | -430 | 464        | -3068        | -1395        | ----- | 1250 | 9128  | 4992 | ----- |
| 57 | 2052 | -346 | -2200 | 1250 | -421 | 467        | -3082        | -1366        | ----- | 1273 | 9263  | 4595 | ----- |
| 58 | 2053 | -362 | -2207 | 1282 | -412 | 470        | -3096        | -1337        | ----- | 1268 | 9426  | 4882 | ----- |
| 59 | 2054 | -379 | -2215 | 1314 | -404 | 473        | -3109        | -1309        | ----- | 1267 | 9602  | 4969 | ----- |
| 60 | 2055 | -395 | -2222 | 1345 | -395 | <b>477</b> | <b>-3123</b> | <b>-1280</b> | ----- | 1293 | 9749  | 4688 | ----- |
| 61 | 2056 | -372 | -2424 | 1083 | -462 | 448        | -3113        | -1293        | ----- | 1321 | 9834  | 5221 | ----- |
| 62 | 2057 | -357 | -2364 | 1109 | -456 | 420        | -3103        | -1306        | ----- | 1322 | 9877  | 4785 | ----- |
| 63 | 2058 | -343 | -2305 | 1135 | -450 | 391        | -3093        | -1318        | ----- | 1312 | 9943  | 5124 | ----- |
| 64 | 2059 | -328 | -2245 | 1161 | -444 | 363        | -3083        | -1331        | ----- | 1327 | 10100 | 5170 | ----- |
| 65 | 2060 | -313 | -2185 | 1187 | -438 | <b>334</b> | <b>-3073</b> | <b>-1344</b> | ----- | 1358 | 10363 | 4911 | ----- |
| 66 | 2061 | -329 | -2192 | 1219 | -430 | 338        | -3087        | -1315        | ----- | 1368 | 10670 | 5455 | ----- |
| 67 | 2062 | -346 | -2200 | 1250 | -421 | 341        | -3101        | -1287        | ----- | 1357 | 10903 | 4986 | ----- |
| 68 | 2063 | -362 | -2207 | 1282 | -412 | 344        | -3115        | -1258        | ----- | 1362 | 10966 | 5375 | ----- |
| 69 | 2064 | -379 | -2215 | 1314 | -404 | 348        | -3128        | -1229        | ----- | 1392 | 10861 | 5378 | ----- |
| 70 | 2065 | -395 | -2222 | 1345 | -395 | <b>351</b> | <b>-3142</b> | <b>-1201</b> | ----- | 1414 | 10692 | 5150 | ----- |
| 71 | 2066 | -372 | -2424 | 1083 | -462 | 322        | -3132        | -1213        | ----- | 1409 | 10601 | 5694 | ----- |
| 72 | 2067 | -357 | -2364 | 1109 | -456 | 294        | -3122        | -1226        | ----- | 1408 | 10675 | 5202 | ----- |
| 73 | 2068 | -343 | -2305 | 1135 | -450 | 265        | -3112        | -1239        | ----- | 1435 | 10896 | 5636 | ----- |
| 74 | 2069 | -328 | -2245 | 1161 | -444 | 237        | -3102        | -1252        | ----- | 1469 | 11158 | 5594 | ----- |
| 75 | 2070 | -313 | -2185 | 1187 | -438 | <b>208</b> | <b>-3092</b> | <b>-1264</b> | ----- | 1476 | 11337 | 5403 | ----- |
| 76 | 2071 | -329 | -2192 | 1219 | -430 | 212        | -3106        | -1236        | ----- | 1473 | 11381 | 5937 | ----- |
| 77 | 2072 | -346 | -2200 | 1250 | -421 | 215        | -3120        | -1207        | ----- | 1496 | 11342 | 5433 | ----- |
| 78 | 2073 | -362 | -2207 | 1282 | -412 | 218        | -3134        | -1178        | ----- | 1536 | 11331 | 5906 | ----- |
| 79 | 2074 | -379 | -2215 | 1314 | -404 | 222        | -3147        | -1150        | ----- | 1558 | 11431 | 5818 | ----- |
| 80 | 2075 | -395 | -2222 | 1345 | -395 | <b>225</b> | <b>-3161</b> | <b>-1121</b> | ----- | 1559 | 11637 | 5672 | ----- |

|     |      |      |       |      |      |             |              |              |       |      |       |      |       |
|-----|------|------|-------|------|------|-------------|--------------|--------------|-------|------|-------|------|-------|
| 81  | 2076 | -372 | -2424 | 1083 | -462 | 197         | -3151        | -1134        | ----- | 1574 | 11872 | 6185 | ----- |
| 82  | 2077 | -357 | -2364 | 1109 | -456 | 168         | -3141        | -1147        | ----- | 1616 | 12055 | 5680 | ----- |
| 83  | 2078 | -343 | -2305 | 1135 | -450 | 139         | -3131        | -1159        | ----- | 1651 | 12164 | 6183 | ----- |
| 84  | 2079 | -328 | -2245 | 1161 | -444 | 111         | -3121        | -1172        | ----- | 1658 | 12251 | 6054 | ----- |
| 85  | 2080 | -313 | -2185 | 1187 | -438 | 82          | <b>-3111</b> | <b>-1185</b> | ----- | 1667 | 12391 | 5956 | ----- |
| 86  | 2081 | -329 | -2192 | 1219 | -430 | 86          | -3125        | -1156        | ----- | 1703 | 12611 | 6439 | ----- |
| 87  | 2082 | -346 | -2200 | 1250 | -421 | 89          | -3139        | -1128        | ----- | 1745 | 12844 | 5943 | ----- |
| 88  | 2083 | -362 | -2207 | 1282 | -412 | 93          | -3152        | -1099        | ----- | 1761 | 12972 | 6469 | ----- |
| 89  | 2084 | -379 | -2215 | 1314 | -404 | 96          | -3166        | -1070        | ----- | 1763 | 12923 | 6302 | ----- |
| 90  | 2085 | -395 | -2222 | 1345 | -395 | 99          | <b>-3180</b> | <b>-1042</b> | ----- | 1788 | 12733 | 6253 | ----- |
| 91  | 2086 | -372 | -2424 | 1083 | -462 | 71          | -3170        | -1055        | ----- | 1832 | 12538 | 6700 | ----- |
| 92  | 2087 | -357 | -2364 | 1109 | -456 | 42          | -3160        | -1067        | ----- | 1856 | 12478 | 6225 | ----- |
| 93  | 2088 | -343 | -2305 | 1135 | -450 | 14          | -3150        | -1080        | ----- | 1856 | 12602 | 6762 | ----- |
| 94  | 2089 | -328 | -2245 | 1161 | -444 | -15         | -3140        | -1093        | ----- | 1868 | 12824 | 6564 | ----- |
| 95  | 2090 | -313 | -2185 | 1187 | -438 | <b>-44</b>  | <b>-3130</b> | <b>-1105</b> | ----- | 1906 | 12974 | 6565 | ----- |
| 96  | 2091 | -329 | -2192 | 1219 | -430 | -40         | -3144        | -1077        | ----- | 1938 | 12925 | 6969 | ----- |
| 97  | 2092 | -346 | -2200 | 1250 | -421 | -37         | -3157        | -1048        | ----- | 1941 | 12690 | 6524 | ----- |
| 98  | 2093 | -362 | -2207 | 1282 | -412 | -33         | -3171        | -1020        | ----- | 1942 | 12423 | 7063 | ----- |
| 99  | 2094 | -379 | -2215 | 1314 | -404 | -30         | -3185        | -991         | ----- | 1970 | 12307 | 6841 | ----- |
| 100 | 2095 | -395 | -2222 | 1345 | -395 | <b>-26</b>  | <b>-3199</b> | <b>-962</b>  | ----- | 2007 | 12426 | 6890 | ----- |
| 101 | 2096 | -372 | -2424 | 1083 | -462 | -55         | -3189        | -975         | ----- | 2018 | 12707 | 7248 | ----- |
| 102 | 2097 | -357 | -2364 | 1109 | -456 | -84         | -3179        | -988         | ----- | 2014 | 12981 | 6842 | ----- |
| 103 | 2098 | -343 | -2305 | 1135 | -450 | -112        | -3169        | -1000        | ----- | 2033 | 13096 | 7372 | ----- |
| 104 | 2099 | -328 | -2245 | 1161 | -444 | -141        | -3159        | -1013        | ----- | 2072 | 13033 | 7135 | ----- |
| 105 | 2100 | -313 | -2185 | 1187 | -438 | <b>-170</b> | <b>-3149</b> | <b>-1026</b> | ----- | 2095 | 12908 | 7229 | ----- |

Tabela D.2 – Concentrações de dióxido de carbono atmosférico (Cenário Terceiro)

|    |      | ARMAZENAMENTO ATMOSFERICO ANUAL |           |          |       | ppm     |       |
|----|------|---------------------------------|-----------|----------|-------|---------|-------|
|    |      | TgC/ANO                         |           |          |       | TEORICO |       |
| No | ANO  | BOREAL                          | TEMPERADA | TROPICAL | POLAR | INCREM  | [CO2] |
| 0  | 1995 | 1489                            | -929      | 2264     | -468  | 1,11    | 362   |
| 1  | 1996 | 1474                            | -1437     | 2199     | -462  | 0,84    | 362   |
| 2  | 1997 | 1446                            | -1246     | 2290     | -456  | 0,96    | 363   |
| 3  | 1998 | 1442                            | -1151     | 2335     | -450  | 1,03    | 364   |
| 4  | 1999 | 1458                            | -1022     | 2327     | -444  | 1,09    | 365   |
| 5  | 2000 | 1457                            | -787      | 2431     | -438  | 1,26    | 367   |
| 6  | 2001 | 1434                            | -802      | 2461     | -430  | 1,26    | 368   |
| 7  | 2002 | 1422                            | -796      | 2585     | -421  | 1,32    | 369   |
| 8  | 2003 | 1439                            | -729      | 2655     | -412  | 1,39    | 371   |
| 9  | 2004 | 1451                            | -629      | 2748     | -404  | 1,49    | 372   |
| 10 | 2005 | 1436                            | -539      | 2836     | -395  | 1,57    | 374   |
| 11 | 2006 | 1427                            | -669      | 2585     | -462  | 1,36    | 375   |
| 12 | 2007 | 1437                            | -600      | 2639     | -456  | 1,42    | 377   |
| 13 | 2008 | 1457                            | -568      | 2650     | -450  | 1,46    | 378   |
| 14 | 2009 | 1451                            | -512      | 2744     | -444  | 1,53    | 380   |
| 15 | 2010 | 1429                            | -371      | 2723     | -438  | 1,58    | 381   |
| 16 | 2011 | 1429                            | -206      | 2867     | -430  | 1,73    | 383   |
| 17 | 2012 | 1449                            | 47        | 2936     | -421  | 1,89    | 385   |
| 18 | 2013 | 1452                            | 314       | 2993     | -412  | 2,05    | 387   |
| 19 | 2014 | 1429                            | 503       | 3172     | -404  | 2,22    | 389   |
| 20 | 2015 | 1416                            | 559       | 3139     | -395  | 2,23    | 391   |
| 21 | 2016 | 1437                            | 328       | 3011     | -462  | 2,03    | 393   |
| 22 | 2017 | 1446                            | 319       | 2992     | -456  | 2,03    | 395   |
| 23 | 2018 | 1426                            | 360       | 3011     | -450  | 2,05    | 397   |
| 24 | 2019 | 1402                            | 501       | 3174     | -444  | 2,19    | 400   |
| 25 | 2020 | 1403                            | 737       | 3040     | -438  | 2,24    | 402   |
| 26 | 2021 | 1416                            | 922       | 3312     | -430  | 2,46    | 404   |
| 27 | 2022 | 1404                            | 1079      | 3293     | -421  | 2,53    | 407   |
| 28 | 2023 | 1374                            | 1169      | 3378     | -412  | 2,60    | 409   |
| 29 | 2024 | 1364                            | 1196      | 3608     | -404  | 2,72    | 412   |
| 30 | 2025 | 1377                            | 1192      | 3473     | -395  | 2,66    | 415   |
| 31 | 2026 | 1383                            | 1015      | 3472     | -462  | 2,55    | 417   |
| 32 | 2027 | 1355                            | 1110      | 3354     | -456  | 2,53    | 420   |
| 33 | 2028 | 1336                            | 1220      | 3421     | -450  | 2,61    | 422   |
| 34 | 2029 | 1345                            | 1360      | 3614     | -444  | 2,77    | 425   |
| 35 | 2030 | 1354                            | 1550      | 3393     | -438  | 2,76    | 428   |
| 36 | 2031 | 1336                            | 1715      | 3788     | -430  | 3,02    | 431   |
| 37 | 2032 | 1313                            | 1939      | 3662     | -421  | 3,06    | 434   |
| 38 | 2033 | 1318                            | 2175      | 3812     | -412  | 3,25    | 437   |
| 39 | 2034 | 1336                            | 2350      | 4052     | -404  | 3,46    | 441   |
| 40 | 2035 | 1332                            | 2409      | 3848     | -395  | 3,39    | 444   |
| 41 | 2036 | 1318                            | 2191      | 3963     | -462  | 3,31    | 447   |
| 42 | 2037 | 1316                            | 2205      | 3734     | -456  | 3,21    | 451   |
| 43 | 2038 | 1338                            | 2288      | 3880     | -450  | 3,33    | 454   |
| 44 | 2039 | 1347                            | 2500      | 4063     | -444  | 3,52    | 458   |
| 45 | 2040 | 1331                            | 2827      | 3792     | -438  | 3,54    | 461   |
| 46 | 2041 | 1322                            | 3092      | 4291     | -430  | 3,90    | 465   |
| 47 | 2042 | 1342                            | 3276      | 4054     | -421  | 3,89    | 469   |
| 48 | 2043 | 1363                            | 3315      | 4296     | -412  | 4,04    | 473   |
| 49 | 2044 | 1356                            | 3232      | 4506     | -404  | 4,10    | 477   |
| 50 | 2045 | 1341                            | 3119      | 4272     | -395  | 3,93    | 481   |
| 51 | 2046 | 1359                            | 2898      | 4477     | -462  | 3,90    | 485   |
| 52 | 2047 | 1383                            | 3043      | 4141     | -456  | 3,83    | 489   |
| 53 | 2048 | 1385                            | 3270      | 4388     | -450  | 4,05    | 493   |
| 54 | 2049 | 1365                            | 3524      | 4523     | -444  | 4,23    | 497   |
| 55 | 2050 | 1363                            | 3755      | 4244     | -438  | 4,21    | 501   |
| 56 | 2051 | 1385                            | 3868      | 4816     | -430  | 4,55    | 506   |
| 57 | 2052 | 1394                            | 3982      | 4480     | -421  | 4,45    | 510   |
| 58 | 2053 | 1376                            | 4123      | 4827     | -412  | 4,68    | 515   |
| 59 | 2054 | 1362                            | 4278      | 4974     | -404  | 4,82    | 520   |
| 60 | 2055 | 1375                            | 4403      | 4754     | -395  | 4,78    | 524   |



|     |      |      |      |      |      |      |     |
|-----|------|------|------|------|------|------|-----|
| 61  | 2056 | 1398 | 4296 | 5011 | -462 | 4,83 | 529 |
| 62  | 2057 | 1384 | 4409 | 4588 | -456 | 4,68 | 534 |
| 63  | 2058 | 1361 | 4545 | 4940 | -450 | 4,90 | 539 |
| 64  | 2059 | 1362 | 4771 | 5000 | -444 | 5,04 | 544 |
| 65  | 2060 | 1379 | 5105 | 4755 | -438 | 5,09 | 549 |
| 66  | 2061 | 1376 | 5391 | 5359 | -430 | 5,52 | 554 |
| 67  | 2062 | 1352 | 5602 | 4950 | -421 | 5,42 | 560 |
| 68  | 2063 | 1344 | 5644 | 5399 | -412 | 5,65 | 566 |
| 69  | 2064 | 1361 | 5518 | 5462 | -404 | 5,63 | 571 |
| 70  | 2065 | 1370 | 5328 | 5295 | -395 | 5,47 | 577 |
| 71  | 2066 | 1360 | 5044 | 5563 | -462 | 5,43 | 582 |
| 72  | 2067 | 1344 | 5188 | 5085 | -456 | 5,26 | 587 |
| 73  | 2068 | 1358 | 5480 | 5532 | -450 | 5,62 | 593 |
| 74  | 2069 | 1378 | 5811 | 5503 | -444 | 5,78 | 599 |
| 75  | 2070 | 1371 | 6060 | 5326 | -438 | 5,81 | 605 |
| 76  | 2071 | 1356 | 6083 | 5920 | -430 | 6,10 | 611 |
| 77  | 2072 | 1365 | 6022 | 5476 | -421 | 5,87 | 617 |
| 78  | 2073 | 1393 | 5990 | 6009 | -412 | 6,12 | 623 |
| 79  | 2074 | 1402 | 6069 | 5982 | -404 | 6,16 | 629 |
| 80  | 2075 | 1389 | 6254 | 5896 | -395 | 6,20 | 635 |
| 81  | 2076 | 1399 | 6297 | 6133 | -462 | 6,30 | 641 |
| 82  | 2077 | 1427 | 6549 | 5642 | -456 | 6,21 | 648 |
| 83  | 2078 | 1448 | 6729 | 6159 | -450 | 6,55 | 654 |
| 84  | 2079 | 1442 | 6885 | 6043 | -444 | 6,57 | 661 |
| 85  | 2080 | 1436 | 7095 | 5958 | -438 | 6,63 | 667 |
| 86  | 2081 | 1459 | 7294 | 6502 | -430 | 6,99 | 674 |
| 87  | 2082 | 1489 | 7505 | 6066 | -421 | 6,91 | 681 |
| 88  | 2083 | 1491 | 7613 | 6652 | -412 | 7,24 | 688 |
| 89  | 2084 | 1481 | 7542 | 6545 | -404 | 7,15 | 696 |
| 90  | 2085 | 1493 | 7331 | 6557 | -395 | 7,07 | 703 |
| 91  | 2086 | 1530 | 6943 | 6728 | -462 | 6,95 | 710 |
| 92  | 2087 | 1541 | 6953 | 6266 | -456 | 6,75 | 716 |
| 93  | 2088 | 1527 | 7148 | 6817 | -450 | 7,10 | 723 |
| 94  | 2089 | 1525 | 7439 | 6632 | -444 | 7,15 | 731 |
| 95  | 2090 | 1549 | 7659 | 6647 | -438 | 7,27 | 738 |
| 96  | 2091 | 1568 | 7589 | 7111 | -430 | 7,47 | 745 |
| 97  | 2092 | 1558 | 7333 | 6727 | -421 | 7,17 | 752 |
| 98  | 2093 | 1546 | 7045 | 7326 | -412 | 7,31 | 760 |
| 99  | 2094 | 1562 | 6907 | 7164 | -404 | 7,18 | 767 |
| 100 | 2095 | 1586 | 7004 | 7274 | -395 | 7,30 | 774 |
| 101 | 2096 | 1591 | 7094 | 7355 | -462 | 7,35 | 782 |
| 102 | 2097 | 1573 | 7438 | 6963 | -456 | 7,32 | 789 |
| 103 | 2098 | 1578 | 7623 | 7507 | -450 | 7,67 | 797 |
| 104 | 2099 | 1604 | 7630 | 7283 | -444 | 7,58 | 804 |
| 105 | 2100 | 1613 | 7574 | 7390 | -438 | 7,61 | 812 |

## **ANEXO E**

Tabela E.1 -- Valores de fluxos do ciclo de carbono (Cenário Quarto)

Tabela E.2 – Concentrações de dióxido de carbono atmosférico (Cenário Terceiro)

Tabela E.1 -- Valores de fluxos do ciclo de carbono (Cenário Quarto)

|    |      | FLUXO OCEANICO TEORICO |           |          |       | FLUXO ECOSSITEMA TERRESTRE TEORICO |           |          |       | FLUXO ANTROPOGENICO |           |          |       |
|----|------|------------------------|-----------|----------|-------|------------------------------------|-----------|----------|-------|---------------------|-----------|----------|-------|
|    |      | TgC/ANO                |           |          |       | TgC/ANO                            |           |          |       | TgC/ANO             |           |          |       |
| No | ANO  | BOREAL                 | TEMPERADA | TROPICAL | POLAR | BOREAL                             | TEMPERADA | TROPICAL | POLAR | BOREAL              | TEMPERADA | TROPICAL | POLAR |
| 0  | 1995 | -387                   | -2484     | 1056     | -468  | 1231                               | -3009     | -1757    | ----- | 644                 | 4564      | 2965     | ----- |
| 1  | 1996 | -372                   | -2424     | 1083     | -462  | 1203                               | -3000     | -1770    | ----- | 643                 | 3525      | 2886     | ----- |
| 2  | 1997 | -357                   | -2364     | 1109     | -456  | 1175                               | -2990     | -1782    | ----- | 628                 | 3662      | 2964     | ----- |
| 3  | 1998 | -343                   | -2305     | 1135     | -450  | 1147                               | -2980     | -1795    | ----- | 637                 | 3685      | 2995     | ----- |
| 4  | 1999 | -328                   | -2245     | 1161     | -444  | 1119                               | -2970     | -1808    | ----- | 667                 | 3746      | 2974     | ----- |
| 5  | 2000 | -313                   | -2185     | 1187     | -438  | 1090                               | -2961     | -1821    | ----- | 680                 | 3927      | 3065     | ----- |
| 6  | 2001 | -329                   | -2192     | 1219     | -430  | 1093                               | -2974     | -1792    | ----- | 670                 | 3973      | 3034     | ----- |
| 7  | 2002 | -346                   | -2200     | 1250     | -421  | 1096                               | -2988     | -1763    | ----- | 672                 | 4064      | 3098     | ----- |
| 8  | 2003 | -362                   | -2207     | 1282     | -412  | 1099                               | -3001     | -1735    | ----- | 702                 | 4221      | 3108     | ----- |
| 9  | 2004 | -379                   | -2215     | 1314     | -404  | 1103                               | -3015     | -1706    | ----- | 727                 | 4357      | 3141     | ----- |
| 10 | 2005 | -395                   | -2222     | 1345     | -395  | 1106                               | -3028     | -1678    | ----- | 725                 | 4431      | 3168     | ----- |
| 11 | 2006 | -372                   | -2424     | 1083     | -462  | 1077                               | -3019     | -1690    | ----- | 721                 | 4454      | 3193     | ----- |
| 12 | 2007 | -357                   | -2364     | 1109     | -456  | 1049                               | -3009     | -1703    | ----- | 745                 | 4417      | 3234     | ----- |
| 13 | 2008 | -343                   | -2305     | 1135     | -450  | 1021                               | -2999     | -1716    | ----- | 778                 | 4362      | 3231     | ----- |
| 14 | 2009 | -328                   | -2245     | 1161     | -444  | 993                                | -2989     | -1728    | ----- | 786                 | 4376      | 3311     | ----- |
| 15 | 2010 | -313                   | -2185     | 1187     | -438  | 964                                | -2979     | -1741    | ----- | 778                 | 4477      | 3277     | ----- |
| 16 | 2011 | -329                   | -2192     | 1219     | -430  | 967                                | -2993     | -1713    | ----- | 791                 | 4642      | 3361     | ----- |
| 17 | 2012 | -346                   | -2200     | 1250     | -421  | 971                                | -3007     | -1684    | ----- | 824                 | 4877      | 3369     | ----- |
| 18 | 2013 | -362                   | -2207     | 1282     | -412  | 974                                | -3020     | -1655    | ----- | 840                 | 5133      | 3366     | ----- |
| 19 | 2014 | -379                   | -2215     | 1314     | -404  | 977                                | -3034     | -1627    | ----- | 831                 | 5317      | 3485     | ----- |
| 20 | 2015 | -395                   | -2222     | 1345     | -395  | 980                                | -3047     | -1598    | ----- | 831                 | 5423      | 3392     | ----- |
| 21 | 2016 | -372                   | -2424     | 1083     | -462  | 952                                | -3037     | -1611    | ----- | 857                 | 5474      | 3539     | ----- |
| 22 | 2017 | -357                   | -2364     | 1109     | -456  | 923                                | -3028     | -1624    | ----- | 880                 | 5459      | 3507     | ----- |
| 23 | 2018 | -343                   | -2305     | 1135     | -450  | 895                                | -3018     | -1636    | ----- | 874                 | 5438      | 3513     | ----- |
| 24 | 2019 | -328                   | -2245     | 1161     | -444  | 867                                | -3008     | -1649    | ----- | 863                 | 5494      | 3662     | ----- |
| 25 | 2020 | -313                   | -2185     | 1187     | -438  | 838                                | -2998     | -1662    | ----- | 878                 | 5618      | 3514     | ----- |
| 26 | 2021 | -329                   | -2192     | 1219     | -430  | 841                                | -3012     | -1633    | ----- | 904                 | 5781      | 3726     | ----- |
| 27 | 2022 | -346                   | -2200     | 1250     | -421  | 845                                | -3025     | -1604    | ----- | 905                 | 5995      | 3647     | ----- |
| 28 | 2023 | -362                   | -2207     | 1282     | -412  | 848                                | -3039     | -1576    | ----- | 888                 | 6200      | 3671     | ----- |
| 29 | 2024 | -379                   | -2215     | 1314     | -404  | 851                                | -3053     | -1547    | ----- | 892                 | 6320      | 3841     | ----- |
| 30 | 2025 | -395                   | -2222     | 1345     | -395  | 854                                | -3066     | -1519    | ----- | 918                 | 6390      | 3646     | ----- |
| 31 | 2026 | -372                   | -2424     | 1083     | -462  | 826                                | -3056     | -1531    | ----- | 929                 | 6441      | 3921     | ----- |
| 32 | 2027 | -357                   | -2364     | 1109     | -456  | 797                                | -3047     | -1544    | ----- | 915                 | 6461      | 3790     | ----- |
| 33 | 2028 | -343                   | -2305     | 1135     | -450  | 769                                | -3037     | -1557    | ----- | 909                 | 6520      | 3843     | ----- |
| 34 | 2029 | -328                   | -2245     | 1161     | -444  | 741                                | -3027     | -1569    | ----- | 932                 | 6683      | 4023     | ----- |
| 35 | 2030 | -313                   | -2185     | 1187     | -438  | 712                                | -3017     | -1582    | ----- | 955                 | 6901      | 3788     | ----- |
| 36 | 2031 | -329                   | -2192     | 1219     | -430  | 716                                | -3031     | -1554    | ----- | 950                 | 7134      | 4123     | ----- |
| 37 | 2032 | -346                   | -2200     | 1250     | -421  | 719                                | -3044     | -1525    | ----- | 940                 | 7386      | 3937     | ----- |
| 38 | 2033 | -362                   | -2207     | 1282     | -412  | 722                                | -3058     | -1496    | ----- | 958                 | 7576      | 4026     | ----- |
| 39 | 2034 | -379                   | -2215     | 1314     | -404  | 725                                | -3072     | -1468    | ----- | 990                 | 7644      | 4206     | ----- |
| 40 | 2035 | -395                   | -2222     | 1345     | -395  | 728                                | -3085     | -1439    | ----- | 999                 | 7662      | 3941     | ----- |

|    |      |      |       |      |      |            |              |              |       |      |       |      |       |
|----|------|------|-------|------|------|------------|--------------|--------------|-------|------|-------|------|-------|
| 41 | 2036 | -372 | -2424 | 1083 | -462 | 700        | -3075        | -1452        | ----- | 990  | 7669  | 4332 | ----- |
| 42 | 2037 | -357 | -2364 | 1109 | -456 | 671        | -3065        | -1465        | ----- | 1002 | 7666  | 4090 | ----- |
| 43 | 2038 | -343 | -2305 | 1135 | -450 | 643        | -3056        | -1477        | ----- | 1037 | 7746  | 4223 | ----- |
| 44 | 2039 | -328 | -2245 | 1161 | -444 | 615        | -3046        | -1490        | ----- | 1060 | 7961  | 4392 | ----- |
| 45 | 2040 | -313 | -2185 | 1187 | -438 | <b>586</b> | <b>-3036</b> | <b>-1503</b> | ----- | 1058 | 8232  | 4107 | ----- |
| 46 | 2041 | -329 | -2192 | 1219 | -430 | 590        | -3049        | -1474        | ----- | 1062 | 8530  | 4547 | ----- |
| 47 | 2042 | -346 | -2200 | 1250 | -421 | 593        | -3063        | -1446        | ----- | 1095 | 8854  | 4249 | ----- |
| 48 | 2043 | -362 | -2207 | 1282 | -412 | 596        | -3077        | -1417        | ----- | 1129 | 9095  | 4431 | ----- |
| 49 | 2044 | -379 | -2215 | 1314 | -404 | 599        | -3091        | -1388        | ----- | 1135 | 9208  | 4580 | ----- |
| 50 | 2045 | -395 | -2222 | 1345 | -395 | <b>603</b> | <b>-3104</b> | <b>-1360</b> | ----- | 1133 | 9281  | 4287 | ----- |
| 51 | 2046 | -372 | -2424 | 1083 | -462 | 574        | -3094        | -1372        | ----- | 1157 | 9332  | 4767 | ----- |
| 52 | 2047 | -357 | -2364 | 1109 | -456 | 546        | -3084        | -1385        | ----- | 1195 | 9358  | 4418 | ----- |
| 53 | 2048 | -343 | -2305 | 1135 | -450 | 517        | -3074        | -1398        | ----- | 1210 | 9471  | 4651 | ----- |
| 54 | 2049 | -328 | -2245 | 1161 | -444 | 489        | -3065        | -1411        | ----- | 1204 | 9698  | 4772 | ----- |
| 55 | 2050 | -313 | -2185 | 1187 | -438 | <b>460</b> | <b>-3055</b> | <b>-1423</b> | ----- | 1216 | 9942  | 4480 | ----- |
| 56 | 2051 | -329 | -2192 | 1219 | -430 | 464        | -3068        | -1395        | ----- | 1250 | 10204 | 4992 | ----- |
| 57 | 2052 | -346 | -2200 | 1250 | -421 | 467        | -3082        | -1366        | ----- | 1273 | 10496 | 4595 | ----- |
| 58 | 2053 | -362 | -2207 | 1282 | -412 | 470        | -3096        | -1337        | ----- | 1268 | 10710 | 4882 | ----- |
| 59 | 2054 | -379 | -2215 | 1314 | -404 | 473        | -3109        | -1309        | ----- | 1267 | 10841 | 4969 | ----- |
| 60 | 2055 | -395 | -2222 | 1345 | -395 | <b>477</b> | <b>-3123</b> | <b>-1280</b> | ----- | 1293 | 10998 | 4688 | ----- |
| 61 | 2056 | -372 | -2424 | 1083 | -462 | 448        | -3113        | -1293        | ----- | 1321 | 11166 | 5221 | ----- |
| 62 | 2057 | -357 | -2364 | 1109 | -456 | 420        | -3103        | -1306        | ----- | 1322 | 11334 | 4785 | ----- |
| 63 | 2058 | -343 | -2305 | 1135 | -450 | 391        | -3093        | -1318        | ----- | 1312 | 11607 | 5124 | ----- |
| 64 | 2059 | -328 | -2245 | 1161 | -444 | 363        | -3083        | -1331        | ----- | 1327 | 11957 | 5170 | ----- |
| 65 | 2060 | -313 | -2185 | 1187 | -438 | <b>334</b> | <b>-3073</b> | <b>-1344</b> | ----- | 1358 | 12258 | 4911 | ----- |
| 66 | 2061 | -329 | -2192 | 1219 | -430 | 338        | -3087        | -1315        | ----- | 1368 | 12533 | 5455 | ----- |
| 67 | 2062 | -346 | -2200 | 1250 | -421 | 341        | -3101        | -1287        | ----- | 1357 | 12785 | 4986 | ----- |
| 68 | 2063 | -362 | -2207 | 1282 | -412 | 344        | -3115        | -1258        | ----- | 1362 | 12910 | 5375 | ----- |
| 69 | 2064 | -379 | -2215 | 1314 | -404 | 348        | -3128        | -1229        | ----- | 1392 | 12970 | 5378 | ----- |
| 70 | 2065 | -395 | -2222 | 1345 | -395 | <b>351</b> | <b>-3142</b> | <b>-1201</b> | ----- | 1414 | 13105 | 5150 | ----- |
| 71 | 2066 | -372 | -2424 | 1083 | -462 | 322        | -3132        | -1213        | ----- | 1409 | 13282 | 5694 | ----- |
| 72 | 2067 | -357 | -2364 | 1109 | -456 | 294        | -3122        | -1226        | ----- | 1408 | 13517 | 5202 | ----- |
| 73 | 2068 | -343 | -2305 | 1135 | -450 | 265        | -3112        | -1239        | ----- | 1435 | 13921 | 5636 | ----- |
| 74 | 2069 | -328 | -2245 | 1161 | -444 | 237        | -3102        | -1252        | ----- | 1469 | 14413 | 5594 | ----- |
| 75 | 2070 | -313 | -2185 | 1187 | -438 | <b>208</b> | <b>-3092</b> | <b>-1264</b> | ----- | 1476 | 14850 | 5403 | ----- |
| 76 | 2071 | -329 | -2192 | 1219 | -430 | 212        | -3106        | -1236        | ----- | 1473 | 15272 | 5937 | ----- |
| 77 | 2072 | -346 | -2200 | 1250 | -421 | 215        | -3120        | -1207        | ----- | 1496 | 15643 | 5433 | ----- |
| 78 | 2073 | -362 | -2207 | 1282 | -412 | 218        | -3134        | -1178        | ----- | 1536 | 15836 | 5906 | ----- |
| 79 | 2074 | -379 | -2215 | 1314 | -404 | 222        | -3147        | -1150        | ----- | 1558 | 15957 | 5818 | ----- |
| 80 | 2075 | -395 | -2222 | 1345 | -395 | <b>225</b> | <b>-3161</b> | <b>-1121</b> | ----- | 1559 | 16138 | 5672 | ----- |

|     |      |      |       |      |      |             |              |              |       |      |       |      |       |
|-----|------|------|-------|------|------|-------------|--------------|--------------|-------|------|-------|------|-------|
| 81  | 2076 | -372 | -2424 | 1083 | -462 | 197         | -3151        | -1134        | ----- | 1574 | 16317 | 6185 | ----- |
| 82  | 2077 | -357 | -2364 | 1109 | -456 | 168         | -3141        | -1147        | ----- | 1616 | 16547 | 5680 | ----- |
| 83  | 2078 | -343 | -2305 | 1135 | -450 | 139         | -3131        | -1159        | ----- | 1651 | 16955 | 6183 | ----- |
| 84  | 2079 | -328 | -2245 | 1161 | -444 | 111         | -3121        | -1172        | ----- | 1658 | 17426 | 6054 | ----- |
| 85  | 2080 | -313 | -2185 | 1187 | -438 | 82          | <b>-3111</b> | <b>-1185</b> | ----- | 1667 | 17849 | 5956 | ----- |
| 86  | 2081 | -329 | -2192 | 1219 | -430 | 86          | -3125        | -1156        | ----- | 1703 | 18322 | 6439 | ----- |
| 87  | 2082 | -346 | -2200 | 1250 | -421 | 89          | -3139        | -1128        | ----- | 1745 | 18786 | 5943 | ----- |
| 88  | 2083 | -362 | -2207 | 1282 | -412 | 93          | -3152        | -1099        | ----- | 1761 | 19115 | 6469 | ----- |
| 89  | 2084 | -379 | -2215 | 1314 | -404 | 96          | -3166        | -1070        | ----- | 1763 | 19453 | 6302 | ----- |
| 90  | 2085 | -395 | -2222 | 1345 | -395 | 99          | <b>-3180</b> | <b>-1042</b> | ----- | 1788 | 19886 | 6253 | ----- |
| 91  | 2086 | -372 | -2424 | 1083 | -462 | 71          | -3170        | -1055        | ----- | 1832 | 20287 | 6700 | ----- |
| 92  | 2087 | -357 | -2364 | 1109 | -456 | 42          | -3160        | -1067        | ----- | 1856 | 20720 | 6225 | ----- |
| 93  | 2088 | -343 | -2305 | 1135 | -450 | 14          | -3150        | -1080        | ----- | 1856 | 21280 | 6762 | ----- |
| 94  | 2089 | -328 | -2245 | 1161 | -444 | -15         | -3140        | -1093        | ----- | 1868 | 21787 | 6564 | ----- |
| 95  | 2090 | -313 | -2185 | 1187 | -438 | <b>-44</b>  | <b>-3130</b> | <b>-1105</b> | ----- | 1906 | 22176 | 6565 | ----- |
| 96  | 2091 | -329 | -2192 | 1219 | -430 | -40         | -3144        | -1077        | ----- | 1938 | 22599 | 6969 | ----- |
| 97  | 2092 | -346 | -2200 | 1250 | -421 | -37         | -3157        | -1048        | ----- | 1941 | 22989 | 6524 | ----- |
| 98  | 2093 | -362 | -2207 | 1282 | -412 | -33         | -3171        | -1020        | ----- | 1942 | 23280 | 7063 | ----- |
| 99  | 2094 | -379 | -2215 | 1314 | -404 | -30         | -3185        | -991         | ----- | 1970 | 23700 | 6841 | ----- |
| 100 | 2095 | -395 | -2222 | 1345 | -395 | <b>-26</b>  | <b>-3199</b> | <b>-962</b>  | ----- | 2007 | 24304 | 6890 | ----- |
| 101 | 2096 | -372 | -2424 | 1083 | -462 | -55         | -3189        | -975         | ----- | 2018 | 24934 | 7248 | ----- |
| 102 | 2097 | -357 | -2364 | 1109 | -456 | -84         | -3179        | -988         | ----- | 2014 | 25687 | 6842 | ----- |
| 103 | 2098 | -343 | -2305 | 1135 | -450 | -112        | -3169        | -1000        | ----- | 2033 | 26600 | 7372 | ----- |
| 104 | 2099 | -328 | -2245 | 1161 | -444 | -141        | -3159        | -1013        | ----- | 2072 | 27405 | 7135 | ----- |
| 105 | 2100 | -313 | -2185 | 1187 | -438 | <b>-170</b> | <b>-3149</b> | <b>-1026</b> | ----- | 2095 | 28059 | 7229 | ----- |

**Tabela E.2 – Concentrações de dióxido de carbono atmosférico (Cenário Terceiro)**

|    |      | ARMAZENAMENTO ATMOSFERICO ANUAL |           |          |       | ppm     |       |
|----|------|---------------------------------|-----------|----------|-------|---------|-------|
|    |      | TgC/ANO                         |           |          |       | TEORICO |       |
| No | ANO  | BOREAL                          | TEMPERADA | TROPICAL | POLAR | INCREM  | [CO2] |
| 0  | 1995 | 1489                            | -929      | 2264     | -468  | 1,11    | 362   |
| 1  | 1996 | 1474                            | -1899     | 2199     | -462  | 0,62    | 362   |
| 2  | 1997 | 1446                            | -1692     | 2290     | -456  | 0,75    | 363   |
| 3  | 1998 | 1442                            | -1600     | 2335     | -450  | 0,81    | 364   |
| 4  | 1999 | 1458                            | -1469     | 2327     | -444  | 0,88    | 365   |
| 5  | 2000 | 1457                            | -1219     | 2431     | -438  | 1,05    | 366   |
| 6  | 2001 | 1434                            | -1194     | 2461     | -430  | 1,07    | 367   |
| 7  | 2002 | 1422                            | -1124     | 2585     | -421  | 1,16    | 368   |
| 8  | 2003 | 1439                            | -987      | 2655     | -412  | 1,27    | 369   |
| 9  | 2004 | 1451                            | -873      | 2748     | -404  | 1,38    | 371   |
| 10 | 2005 | 1436                            | -820      | 2836     | -395  | 1,44    | 372   |
| 11 | 2006 | 1427                            | -988      | 2585     | -462  | 1,21    | 373   |
| 12 | 2007 | 1437                            | -956      | 2639     | -456  | 1,26    | 374   |
| 13 | 2008 | 1457                            | -942      | 2650     | -450  | 1,28    | 376   |
| 14 | 2009 | 1451                            | -857      | 2744     | -444  | 1,36    | 377   |
| 15 | 2010 | 1429                            | -687      | 2723     | -438  | 1,43    | 379   |
| 16 | 2011 | 1429                            | -543      | 2867     | -430  | 1,57    | 380   |
| 17 | 2012 | 1449                            | -329      | 2936     | -421  | 1,71    | 382   |
| 18 | 2013 | 1452                            | -94       | 2993     | -412  | 1,86    | 384   |
| 19 | 2014 | 1429                            | 68        | 3172     | -404  | 2,01    | 386   |
| 20 | 2015 | 1416                            | 153       | 3139     | -395  | 2,03    | 388   |
| 21 | 2016 | 1437                            | 12        | 3011     | -462  | 1,89    | 390   |
| 22 | 2017 | 1446                            | 67        | 2992     | -456  | 1,91    | 392   |
| 23 | 2018 | 1426                            | 115       | 3011     | -450  | 1,94    | 393   |
| 24 | 2019 | 1402                            | 241       | 3174     | -444  | 2,06    | 396   |
| 25 | 2020 | 1403                            | 435       | 3040     | -438  | 2,09    | 398   |
| 26 | 2021 | 1416                            | 577       | 3312     | -430  | 2,30    | 400   |
| 27 | 2022 | 1404                            | 770       | 3293     | -421  | 2,38    | 402   |
| 28 | 2023 | 1374                            | 953       | 3378     | -412  | 2,50    | 405   |
| 29 | 2024 | 1364                            | 1052      | 3608     | -404  | 2,65    | 407   |
| 30 | 2025 | 1377                            | 1101      | 3473     | -395  | 2,62    | 410   |
| 31 | 2026 | 1383                            | 960       | 3472     | -462  | 2,52    | 413   |
| 32 | 2027 | 1355                            | 1050      | 3354     | -456  | 2,50    | 415   |
| 33 | 2028 | 1336                            | 1178      | 3421     | -450  | 2,59    | 418   |
| 34 | 2029 | 1345                            | 1411      | 3614     | -444  | 2,80    | 420   |
| 35 | 2030 | 1354                            | 1699      | 3393     | -438  | 2,83    | 423   |
| 36 | 2031 | 1336                            | 1911      | 3788     | -430  | 3,12    | 426   |
| 37 | 2032 | 1313                            | 2142      | 3662     | -421  | 3,16    | 430   |
| 38 | 2033 | 1318                            | 2311      | 3812     | -412  | 3,32    | 433   |
| 39 | 2034 | 1336                            | 2357      | 4052     | -404  | 3,46    | 436   |
| 40 | 2035 | 1332                            | 2354      | 3848     | -395  | 3,37    | 440   |
| 41 | 2036 | 1318                            | 2170      | 3963     | -462  | 3,30    | 443   |
| 42 | 2037 | 1316                            | 2236      | 3734     | -456  | 3,22    | 446   |
| 43 | 2038 | 1338                            | 2386      | 3880     | -450  | 3,37    | 450   |
| 44 | 2039 | 1347                            | 2670      | 4063     | -444  | 3,60    | 453   |
| 45 | 2040 | 1331                            | 3012      | 3792     | -438  | 3,63    | 457   |
| 46 | 2041 | 1322                            | 3288      | 4291     | -430  | 4,00    | 461   |
| 47 | 2042 | 1342                            | 3591      | 4054     | -421  | 4,04    | 465   |
| 48 | 2043 | 1363                            | 3811      | 4296     | -412  | 4,27    | 469   |
| 49 | 2044 | 1356                            | 3903      | 4506     | -404  | 4,42    | 474   |
| 50 | 2045 | 1341                            | 3955      | 4272     | -395  | 4,33    | 478   |
| 51 | 2046 | 1359                            | 3813      | 4477     | -462  | 4,33    | 482   |
| 52 | 2047 | 1383                            | 3910      | 4141     | -456  | 4,23    | 486   |
| 53 | 2048 | 1385                            | 4092      | 4388     | -450  | 4,44    | 491   |
| 54 | 2049 | 1365                            | 4388      | 4523     | -444  | 4,64    | 496   |
| 55 | 2050 | 1363                            | 4702      | 4244     | -438  | 4,66    | 500   |
| 56 | 2051 | 1385                            | 4943      | 4816     | -430  | 5,05    | 505   |
| 57 | 2052 | 1394                            | 5214      | 4480     | -421  | 5,03    | 510   |
| 58 | 2053 | 1376                            | 5406      | 4827     | -412  | 5,28    | 516   |
| 59 | 2054 | 1362                            | 5517      | 4974     | -404  | 5,40    | 521   |
| 60 | 2055 | 1375                            | 5653      | 4754     | -395  | 5,37    | 526   |

|     |      |      |       |      |      |       |     |
|-----|------|------|-------|------|------|-------|-----|
| 61  | 2056 | 1398 | 5628  | 5011 | -462 | 5,46  | 532 |
| 62  | 2057 | 1384 | 5866  | 4588 | -456 | 5,37  | 537 |
| 63  | 2058 | 1361 | 6209  | 4940 | -450 | 5,69  | 543 |
| 64  | 2059 | 1362 | 6629  | 5000 | -444 | 5,92  | 549 |
| 65  | 2060 | 1379 | 7000  | 4755 | -438 | 5,99  | 555 |
| 66  | 2061 | 1376 | 7253  | 5359 | -430 | 6,40  | 561 |
| 67  | 2062 | 1352 | 7485  | 4950 | -421 | 6,30  | 567 |
| 68  | 2063 | 1344 | 7588  | 5399 | -412 | 6,57  | 574 |
| 69  | 2064 | 1361 | 7627  | 5462 | -404 | 6,63  | 581 |
| 70  | 2065 | 1370 | 7740  | 5295 | -395 | 6,61  | 587 |
| 71  | 2066 | 1360 | 7726  | 5563 | -462 | 6,69  | 594 |
| 72  | 2067 | 1344 | 8030  | 5085 | -456 | 6,61  | 601 |
| 73  | 2068 | 1358 | 8505  | 5532 | -450 | 7,05  | 608 |
| 74  | 2069 | 1378 | 9067  | 5503 | -444 | 7,31  | 615 |
| 75  | 2070 | 1371 | 9573  | 5326 | -438 | 7,47  | 622 |
| 76  | 2071 | 1356 | 9973  | 5920 | -430 | 7,93  | 630 |
| 77  | 2072 | 1365 | 10323 | 5476 | -421 | 7,90  | 638 |
| 78  | 2073 | 1393 | 10496 | 6009 | -412 | 8,25  | 646 |
| 79  | 2074 | 1402 | 10595 | 5982 | -404 | 8,29  | 655 |
| 80  | 2075 | 1389 | 10754 | 5896 | -395 | 8,32  | 663 |
| 81  | 2076 | 1399 | 10742 | 6133 | -462 | 8,40  | 671 |
| 82  | 2077 | 1427 | 11041 | 5642 | -456 | 8,33  | 680 |
| 83  | 2078 | 1448 | 11520 | 6159 | -450 | 8,81  | 689 |
| 84  | 2079 | 1442 | 12060 | 6043 | -444 | 9,01  | 698 |
| 85  | 2080 | 1436 | 12554 | 5958 | -438 | 9,20  | 707 |
| 86  | 2081 | 1459 | 13005 | 6502 | -430 | 9,69  | 717 |
| 87  | 2082 | 1489 | 13447 | 6066 | -421 | 9,71  | 726 |
| 88  | 2083 | 1491 | 13755 | 6652 | -412 | 10,13 | 736 |
| 89  | 2084 | 1481 | 14072 | 6545 | -404 | 10,23 | 747 |
| 90  | 2085 | 1493 | 14483 | 6557 | -395 | 10,44 | 757 |
| 91  | 2086 | 1530 | 14693 | 6728 | -462 | 10,61 | 768 |
| 92  | 2087 | 1541 | 15195 | 6266 | -456 | 10,63 | 778 |
| 93  | 2088 | 1527 | 15826 | 6817 | -450 | 11,19 | 789 |
| 94  | 2089 | 1525 | 16403 | 6632 | -444 | 11,38 | 801 |
| 95  | 2090 | 1549 | 16861 | 6647 | -438 | 11,61 | 812 |
| 96  | 2091 | 1568 | 17263 | 7111 | -430 | 12,03 | 825 |
| 97  | 2092 | 1558 | 17631 | 6727 | -421 | 12,03 | 837 |
| 98  | 2093 | 1546 | 17901 | 7326 | -412 | 12,43 | 849 |
| 99  | 2094 | 1562 | 18301 | 7164 | -404 | 12,56 | 862 |
| 100 | 2095 | 1586 | 18882 | 7274 | -395 | 12,90 | 874 |
| 101 | 2096 | 1591 | 19321 | 7355 | -462 | 13,12 | 888 |
| 102 | 2097 | 1573 | 20143 | 6963 | -456 | 13,31 | 901 |
| 103 | 2098 | 1578 | 21127 | 7507 | -450 | 14,04 | 915 |
| 104 | 2099 | 1604 | 22002 | 7283 | -444 | 14,36 | 929 |
| 105 | 2100 | 1613 | 22726 | 7390 | -438 | 14,76 | 944 |

**ANEXO F**

Tabela F.1 – Concentrações de dióxido de carbono atmosférico (Cenário Quinto)

Tabela F.2 – Concentrações de dióxido de carbono atmosférico (Cenário Quinto)



Tabela F.1 – Concentrações de dióxido de carbono atmosférico (Cenário Quinto)

| No | ANO  | FLUXO OCEANICO TEORICO |              |             |             | FLUXO ECOSSITEMA TERRESTRE TEORICO |              |              |       | FLUXO ANTROPOGENICO |           |          |       |
|----|------|------------------------|--------------|-------------|-------------|------------------------------------|--------------|--------------|-------|---------------------|-----------|----------|-------|
|    |      | TgC/ANO                |              |             |             | TgC/ANO                            |              |              |       | TgC/ANO             |           |          |       |
|    |      | BOREAL                 | TEMPERADA    | TROPICAL    | POLAR       | BOREAL                             | TEMPERADA    | TROPICAL     | POLAR | BOREAL              | TEMPERADA | TROPICAL | POLAR |
| 0  | 1995 | -387                   | -2484        | 1056        | -468        | 1231                               | -3009        | -1757        | ----- | 644                 | 4564      | 2965     | ----- |
| 1  | 1996 | -372                   | -2424        | 1083        | -462        | 1203                               | -3000        | -1770        | ----- | 643                 | 4538      | 2886     | ----- |
| 2  | 1997 | -357                   | -2364        | 1109        | -456        | 1175                               | -2990        | -1782        | ----- | 628                 | 4705      | 2964     | ----- |
| 3  | 1998 | -343                   | -2305        | 1135        | -450        | 1147                               | -2980        | -1795        | ----- | 637                 | 4735      | 2995     | ----- |
| 4  | 1999 | -328                   | -2245        | 1161        | -444        | 1119                               | -2970        | -1808        | ----- | 667                 | 4788      | 2974     | ----- |
| 5  | 2000 | <b>-313</b>            | <b>-2185</b> | <b>1187</b> | <b>-438</b> | <b>1090</b>                        | <b>-2961</b> | <b>-1821</b> | ----- | 680                 | 4981      | 3065     | ----- |
| 6  | 2001 | -329                   | -2192        | 1219        | -430        | 1093                               | -2974        | -1792        | ----- | 670                 | 5028      | 3034     | ----- |
| 7  | 2002 | -346                   | -2200        | 1250        | -421        | 1096                               | -2988        | -1763        | ----- | 672                 | 5130      | 3098     | ----- |
| 8  | 2003 | -362                   | -2207        | 1282        | -412        | 1099                               | -3001        | -1735        | ----- | 702                 | 5305      | 3108     | ----- |
| 9  | 2004 | -379                   | -2215        | 1314        | -404        | 1103                               | -3015        | -1706        | ----- | 727                 | 5486      | 3141     | ----- |
| 10 | 2005 | <b>-395</b>            | <b>-2222</b> | <b>1345</b> | <b>-395</b> | <b>1106</b>                        | <b>-3028</b> | <b>-1678</b> | ----- | 725                 | 5608      | 3168     | ----- |
| 11 | 2006 | -372                   | -2424        | 1083        | -462        | 1077                               | -3019        | -1690        | ----- | 721                 | 5648      | 3193     | ----- |
| 12 | 2007 | -357                   | -2364        | 1109        | -456        | 1049                               | -3009        | -1703        | ----- | 745                 | 5626      | 3234     | ----- |
| 13 | 2008 | -343                   | -2305        | 1135        | -450        | 1021                               | -2999        | -1716        | ----- | 778                 | 2239      | 3231     | ----- |
| 14 | 2009 | -328                   | -2245        | 1161        | -444        | 993                                | -2989        | -1728        | ----- | 786                 | 2251      | 3311     | ----- |
| 15 | 2010 | -313                   | -2185        | 1187        | -438        | <b>964</b>                         | <b>-2979</b> | <b>-1741</b> | ----- | 778                 | 2300      | 3277     | ----- |
| 16 | 2011 | -329                   | -2192        | 1219        | -430        | 967                                | -2993        | -1713        | ----- | 791                 | 2390      | 3361     | ----- |
| 17 | 2012 | -346                   | -2200        | 1250        | -421        | 971                                | -3007        | -1684        | ----- | 824                 | 2502      | 3369     | ----- |
| 18 | 2013 | -362                   | -2207        | 1282        | -412        | 974                                | -3020        | -1655        | ----- | 840                 | 2613      | 3366     | ----- |
| 19 | 2014 | -379                   | -2215        | 1314        | -404        | 977                                | -3034        | -1627        | ----- | 831                 | 2698      | 3485     | ----- |
| 20 | 2015 | -395                   | -2222        | 1345        | -395        | <b>980</b>                         | <b>-3047</b> | <b>-1598</b> | ----- | 831                 | 2743      | 3392     | ----- |
| 21 | 2016 | -372                   | -2424        | 1083        | -462        | 952                                | -3037        | -1611        | ----- | 857                 | 2752      | 3539     | ----- |
| 22 | 2017 | -357                   | -2364        | 1109        | -456        | 923                                | -3028        | -1624        | ----- | 880                 | 2743      | 3507     | ----- |
| 23 | 2018 | -343                   | -2305        | 1135        | -450        | 895                                | -3018        | -1636        | ----- | 874                 | 2743      | 3513     | ----- |
| 24 | 2019 | -328                   | -2245        | 1161        | -444        | 867                                | -3008        | -1649        | ----- | 863                 | 2774      | 3662     | ----- |
| 25 | 2020 | -313                   | -2185        | 1187        | -438        | <b>838</b>                         | <b>-2998</b> | <b>-1662</b> | ----- | 878                 | 2846      | 3514     | ----- |
| 26 | 2021 | -329                   | -2192        | 1219        | -430        | 841                                | -3012        | -1633        | ----- | 904                 | 2953      | 3726     | ----- |
| 27 | 2022 | -346                   | -2200        | 1250        | -421        | 845                                | -3025        | -1604        | ----- | 905                 | 3072      | 3647     | ----- |
| 28 | 2023 | -362                   | -2207        | 1282        | -412        | 848                                | -3039        | -1576        | ----- | 888                 | 3178      | 3671     | ----- |
| 29 | 2024 | -379                   | -2215        | 1314        | -404        | 851                                | -3053        | -1547        | ----- | 892                 | 3251      | 3841     | ----- |
| 30 | 2025 | -395                   | -2222        | 1345        | -395        | <b>854</b>                         | <b>-3066</b> | <b>-1519</b> | ----- | 918                 | 3283      | 3646     | ----- |
| 31 | 2026 | -372                   | -2424        | 1083        | -462        | 826                                | -3056        | -1531        | ----- | 929                 | 3287      | 3921     | ----- |
| 32 | 2027 | -357                   | -2364        | 1109        | -456        | 797                                | -3047        | -1544        | ----- | 915                 | 3286      | 3790     | ----- |
| 33 | 2028 | -343                   | -2305        | 1135        | -450        | 769                                | -3037        | -1557        | ----- | 909                 | 3305      | 3843     | ----- |
| 34 | 2029 | -328                   | -2245        | 1161        | -444        | 741                                | -3027        | -1569        | ----- | 932                 | 3363      | 4023     | ----- |
| 35 | 2030 | -313                   | -2185        | 1187        | -438        | <b>712</b>                         | <b>-3017</b> | <b>-1582</b> | ----- | 955                 | 3462      | 3788     | ----- |
| 36 | 2031 | -329                   | -2192        | 1219        | -430        | 716                                | -3031        | -1554        | ----- | 950                 | 3586      | 4123     | ----- |
| 37 | 2032 | -346                   | -2200        | 1250        | -421        | 719                                | -3044        | -1525        | ----- | 940                 | 3712      | 3937     | ----- |
| 38 | 2033 | -362                   | -2207        | 1282        | -412        | 722                                | -3058        | -1496        | ----- | 958                 | 3813      | 4026     | ----- |
| 39 | 2034 | -379                   | -2215        | 1314        | -404        | 725                                | -3072        | -1468        | ----- | 990                 | 3877      | 4206     | ----- |
| 40 | 2035 | -395                   | -2222        | 1345        | -395        | <b>728</b>                         | <b>-3085</b> | <b>-1439</b> | ----- | 999                 | 3904      | 3941     | ----- |

|    |      |      |       |      |      |            |              |              |       |      |      |      |       |
|----|------|------|-------|------|------|------------|--------------|--------------|-------|------|------|------|-------|
| 41 | 2036 | -372 | -2424 | 1083 | -462 | 700        | -3075        | -1452        | ----- | 990  | 3912 | 4332 | ----- |
| 42 | 2037 | -357 | -2364 | 1109 | -456 | 671        | -3065        | -1465        | ----- | 1002 | 3928 | 4090 | ----- |
| 43 | 2038 | -343 | -2305 | 1135 | -450 | 643        | -3056        | -1477        | ----- | 1037 | 3975 | 4223 | ----- |
| 44 | 2039 | -328 | -2245 | 1161 | -444 | 615        | -3046        | -1490        | ----- | 1060 | 4064 | 4392 | ----- |
| 45 | 2040 | -313 | -2185 | 1187 | -438 | <b>586</b> | <b>-3036</b> | <b>-1503</b> | ----- | 1058 | 4189 | 4107 | ----- |
| 46 | 2041 | -329 | -2192 | 1219 | -430 | 590        | -3049        | -1474        | ----- | 1062 | 4329 | 4547 | ----- |
| 47 | 2042 | -346 | -2200 | 1250 | -421 | 593        | -3063        | -1446        | ----- | 1095 | 4458 | 4249 | ----- |
| 48 | 2043 | -362 | -2207 | 1282 | -412 | 596        | -3077        | -1417        | ----- | 1129 | 4555 | 4431 | ----- |
| 49 | 2044 | -379 | -2215 | 1314 | -404 | 599        | -3091        | -1388        | ----- | 1135 | 4613 | 4580 | ----- |
| 50 | 2045 | -395 | -2222 | 1345 | -395 | <b>603</b> | <b>-3104</b> | <b>-1360</b> | ----- | 1133 | 4641 | 4287 | ----- |
| 51 | 2046 | -372 | -2424 | 1083 | -462 | 574        | -3094        | -1372        | ----- | 1157 | 4663 | 4767 | ----- |
| 52 | 2047 | -357 | -2364 | 1109 | -456 | 546        | -3084        | -1385        | ----- | 1195 | 4705 | 4418 | ----- |
| 53 | 2048 | -343 | -2305 | 1135 | -450 | 517        | -3074        | -1398        | ----- | 1210 | 4785 | 4651 | ----- |
| 54 | 2049 | -328 | -2245 | 1161 | -444 | 489        | -3065        | -1411        | ----- | 1204 | 4906 | 4772 | ----- |
| 55 | 2050 | -313 | -2185 | 1187 | -438 | <b>460</b> | <b>-3055</b> | <b>-1423</b> | ----- | 1216 | 5056 | 4480 | ----- |
| 56 | 2051 | -329 | -2192 | 1219 | -430 | 464        | -3068        | -1395        | ----- | 1250 | 5209 | 4992 | ----- |
| 57 | 2052 | -346 | -2200 | 1250 | -421 | 467        | -3082        | -1366        | ----- | 1273 | 5340 | 4595 | ----- |
| 58 | 2053 | -362 | -2207 | 1282 | -412 | 470        | -3096        | -1337        | ----- | 1268 | 5433 | 4882 | ----- |
| 59 | 2054 | -379 | -2215 | 1314 | -404 | 473        | -3109        | -1309        | ----- | 1267 | 5490 | 4969 | ----- |
| 60 | 2055 | -395 | -2222 | 1345 | -395 | <b>477</b> | <b>-3123</b> | <b>-1280</b> | ----- | 1293 | 5528 | 4688 | ----- |
| 61 | 2056 | -372 | -2424 | 1083 | -462 | 448        | -3113        | -1293        | ----- | 1321 | 5573 | 5221 | ----- |
| 62 | 2057 | -357 | -2364 | 1109 | -456 | 420        | -3103        | -1306        | ----- | 1322 | 5647 | 4785 | ----- |
| 63 | 2058 | -343 | -2305 | 1135 | -450 | 391        | -3093        | -1318        | ----- | 1312 | 5764 | 5124 | ----- |
| 64 | 2059 | -328 | -2245 | 1161 | -444 | 363        | -3083        | -1331        | ----- | 1327 | 5919 | 5170 | ----- |
| 65 | 2060 | -313 | -2185 | 1187 | -438 | <b>334</b> | <b>-3073</b> | <b>-1344</b> | ----- | 1358 | 6091 | 4911 | ----- |
| 66 | 2061 | -329 | -2192 | 1219 | -430 | 338        | -3087        | -1315        | ----- | 1368 | 6254 | 5455 | ----- |
| 67 | 2062 | -346 | -2200 | 1250 | -421 | 341        | -3101        | -1287        | ----- | 1357 | 6386 | 4986 | ----- |
| 68 | 2063 | -362 | -2207 | 1282 | -412 | 344        | -3115        | -1258        | ----- | 1362 | 6480 | 5375 | ----- |
| 69 | 2064 | -379 | -2215 | 1314 | -404 | 348        | -3128        | -1229        | ----- | 1392 | 6545 | 5378 | ----- |
| 70 | 2065 | -395 | -2222 | 1345 | -395 | <b>351</b> | <b>-3142</b> | <b>-1201</b> | ----- | 1414 | 6601 | 5150 | ----- |
| 71 | 2066 | -372 | -2424 | 1083 | -462 | 322        | -3132        | -1213        | ----- | 1409 | 6677 | 5694 | ----- |
| 72 | 2067 | -357 | -2364 | 1109 | -456 | 294        | -3122        | -1226        | ----- | 1408 | 6791 | 5202 | ----- |
| 73 | 2068 | -343 | -2305 | 1135 | -450 | 265        | -3112        | -1239        | ----- | 1435 | 6948 | 5636 | ----- |
| 74 | 2069 | -328 | -2245 | 1161 | -444 | 237        | -3102        | -1252        | ----- | 1469 | 7134 | 5594 | ----- |
| 75 | 2070 | -313 | -2185 | 1187 | -438 | <b>208</b> | <b>-3092</b> | <b>-1264</b> | ----- | 1476 | 7326 | 5403 | ----- |
| 76 | 2071 | -329 | -2192 | 1219 | -430 | 212        | -3106        | -1236        | ----- | 1473 | 7499 | 5937 | ----- |
| 77 | 2072 | -346 | -2200 | 1250 | -421 | 215        | -3120        | -1207        | ----- | 1496 | 7635 | 5433 | ----- |
| 78 | 2073 | -362 | -2207 | 1282 | -412 | 218        | -3134        | -1178        | ----- | 1536 | 7735 | 5906 | ----- |
| 79 | 2074 | -379 | -2215 | 1314 | -404 | 222        | -3147        | -1150        | ----- | 1558 | 7815 | 5818 | ----- |
| 80 | 2075 | -395 | -2222 | 1345 | -395 | <b>225</b> | <b>-3161</b> | <b>-1121</b> | ----- | 1559 | 7901 | 5672 | ----- |

|            |             |      |       |      |      |             |              |              |       |      |       |      |       |
|------------|-------------|------|-------|------|------|-------------|--------------|--------------|-------|------|-------|------|-------|
| <b>81</b>  | <b>2076</b> | -372 | -2424 | 1083 | -462 | 197         | -3151        | -1134        | ----- | 1574 | 8017  | 6185 | ----- |
| <b>82</b>  | <b>2077</b> | -357 | -2364 | 1109 | -456 | 168         | -3141        | -1147        | ----- | 1616 | 8175  | 5680 | ----- |
| <b>83</b>  | <b>2078</b> | -343 | -2305 | 1135 | -450 | 139         | -3131        | -1159        | ----- | 1651 | 8373  | 6183 | ----- |
| <b>84</b>  | <b>2079</b> | -328 | -2245 | 1161 | -444 | 111         | -3121        | -1172        | ----- | 1658 | 8590  | 6054 | ----- |
| <b>85</b>  | <b>2080</b> | -313 | -2185 | 1187 | -438 | <b>82</b>   | <b>-3111</b> | <b>-1185</b> | ----- | 1667 | 8801  | 5956 | ----- |
| <b>86</b>  | <b>2081</b> | -329 | -2192 | 1219 | -430 | 86          | -3125        | -1156        | ----- | 1703 | 8984  | 6439 | ----- |
| <b>87</b>  | <b>2082</b> | -346 | -2200 | 1250 | -421 | 89          | -3139        | -1128        | ----- | 1745 | 9129  | 5943 | ----- |
| <b>88</b>  | <b>2083</b> | -362 | -2207 | 1282 | -412 | 93          | -3152        | -1099        | ----- | 1761 | 9244  | 6469 | ----- |
| <b>89</b>  | <b>2084</b> | -379 | -2215 | 1314 | -404 | 96          | -3166        | -1070        | ----- | 1763 | 9350  | 6302 | ----- |
| <b>90</b>  | <b>2085</b> | -395 | -2222 | 1345 | -395 | <b>99</b>   | <b>-3180</b> | <b>-1042</b> | ----- | 1788 | 9476  | 6253 | ----- |
| <b>91</b>  | <b>2086</b> | -372 | -2424 | 1083 | -462 | 71          | -3170        | -1055        | ----- | 1832 | 9639  | 6700 | ----- |
| <b>92</b>  | <b>2087</b> | -357 | -2364 | 1109 | -456 | 42          | -3160        | -1067        | ----- | 1856 | 9846  | 6225 | ----- |
| <b>93</b>  | <b>2088</b> | -343 | -2305 | 1135 | -450 | 14          | -3150        | -1080        | ----- | 1856 | 10086 | 6762 | ----- |
| <b>94</b>  | <b>2089</b> | -328 | -2245 | 1161 | -444 | -15         | -3140        | -1093        | ----- | 1868 | 10334 | 6564 | ----- |
| <b>95</b>  | <b>2090</b> | -313 | -2185 | 1187 | -438 | <b>-44</b>  | <b>-3130</b> | <b>-1105</b> | ----- | 1906 | 10564 | 6565 | ----- |
| <b>96</b>  | <b>2091</b> | -329 | -2192 | 1219 | -430 | -40         | -3144        | -1077        | ----- | 1938 | 10761 | 6969 | ----- |
| <b>97</b>  | <b>2092</b> | -346 | -2200 | 1250 | -421 | -37         | -3157        | -1048        | ----- | 1941 | 10921 | 6524 | ----- |
| <b>98</b>  | <b>2093</b> | -362 | -2207 | 1282 | -412 | -33         | -3171        | -1020        | ----- | 1942 | 11062 | 7063 | ----- |
| <b>99</b>  | <b>2094</b> | -379 | -2215 | 1314 | -404 | -30         | -3185        | -991         | ----- | 1970 | 11207 | 6841 | ----- |
| <b>100</b> | <b>2095</b> | -395 | -2222 | 1345 | -395 | <b>-26</b>  | <b>-3199</b> | <b>-962</b>  | ----- | 2007 | 11382 | 6890 | ----- |
| <b>101</b> | <b>2096</b> | -372 | -2424 | 1083 | -462 | -55         | -3189        | -975         | ----- | 2018 | 11600 | 7248 | ----- |
| <b>102</b> | <b>2097</b> | -357 | -2364 | 1109 | -456 | -84         | -3179        | -988         | ----- | 2014 | 11860 | 6842 | ----- |
| <b>103</b> | <b>2098</b> | -343 | -2305 | 1135 | -450 | -112        | -3169        | -1000        | ----- | 2033 | 12142 | 7372 | ----- |
| <b>104</b> | <b>2099</b> | -328 | -2245 | 1161 | -444 | -141        | -3159        | -1013        | ----- | 2072 | 12421 | 7135 | ----- |
| <b>105</b> | <b>2100</b> | -313 | -2185 | 1187 | -438 | <b>-170</b> | <b>-3149</b> | <b>-1026</b> | ----- | 2095 | 12674 | 7229 | ----- |

Tabela F.2 – Concentrações de dióxido de carbono atmosférico (Cenário Quinto)

|    |      | ARMAZENAMENTO ATMOSFERICO ANUAL |           |          |       | ppm     |       |
|----|------|---------------------------------|-----------|----------|-------|---------|-------|
|    |      | TgC/ANO                         |           |          |       | TEORICO |       |
| No | ANO  | BOREAL                          | TEMPERADA | TROPICAL | POLAR | INCREM  | [CO2] |
| 0  | 1995 | 1489                            | -929      | 2264     | -468  | 1,11    | 362   |
| 1  | 1996 | 1474                            | -886      | 2199     | -462  | 1,10    | 363   |
| 2  | 1997 | 1446                            | -649      | 2290     | -456  | 1,24    | 364   |
| 3  | 1998 | 1442                            | -550      | 2335     | -450  | 1,31    | 365   |
| 4  | 1999 | 1458                            | -427      | 2327     | -444  | 1,37    | 367   |
| 5  | 2000 | 1457                            | -165      | 2431     | -438  | 1,55    | 368   |
| 6  | 2001 | 1434                            | -139      | 2461     | -430  | 1,57    | 370   |
| 7  | 2002 | 1422                            | -58       | 2585     | -421  | 1,66    | 371   |
| 8  | 2003 | 1439                            | 96        | 2655     | -412  | 1,78    | 373   |
| 9  | 2004 | 1451                            | 256       | 2748     | -404  | 1,91    | 375   |
| 10 | 2005 | 1436                            | 358       | 2836     | -395  | 2,00    | 377   |
| 11 | 2006 | 1427                            | 205       | 2585     | -462  | 1,77    | 379   |
| 12 | 2007 | 1437                            | 253       | 2639     | -456  | 1,83    | 381   |
| 13 | 2008 | 1457                            | -3064     | 2650     | -450  | 0,28    | 381   |
| 14 | 2009 | 1451                            | -2983     | 2744     | -444  | 0,36    | 381   |
| 15 | 2010 | 1429                            | -2864     | 2723     | -438  | 0,40    | 382   |
| 16 | 2011 | 1429                            | -2796     | 2867     | -430  | 0,51    | 382   |
| 17 | 2012 | 1449                            | -2704     | 2936     | -421  | 0,59    | 383   |
| 18 | 2013 | 1452                            | -2614     | 2993     | -412  | 0,67    | 383   |
| 19 | 2014 | 1429                            | -2550     | 3172     | -404  | 0,78    | 384   |
| 20 | 2015 | 1416                            | -2526     | 3139     | -395  | 0,77    | 385   |
| 21 | 2016 | 1437                            | -2709     | 3011     | -462  | 0,60    | 386   |
| 22 | 2017 | 1446                            | -2649     | 2992     | -456  | 0,63    | 386   |
| 23 | 2018 | 1426                            | -2580     | 3011     | -450  | 0,66    | 387   |
| 24 | 2019 | 1402                            | -2479     | 3174     | -444  | 0,78    | 388   |
| 25 | 2020 | 1403                            | -2337     | 3040     | -438  | 0,79    | 388   |
| 26 | 2021 | 1416                            | -2252     | 3312     | -430  | 0,97    | 389   |
| 27 | 2022 | 1404                            | -2153     | 3293     | -421  | 1,00    | 390   |
| 28 | 2023 | 1374                            | -2068     | 3378     | -412  | 1,07    | 392   |
| 29 | 2024 | 1364                            | -2017     | 3608     | -404  | 1,20    | 393   |
| 30 | 2025 | 1377                            | -2005     | 3473     | -395  | 1,16    | 394   |
| 31 | 2026 | 1383                            | -2193     | 3472     | -462  | 1,04    | 395   |
| 32 | 2027 | 1355                            | -2125     | 3354     | -456  | 1,00    | 396   |
| 33 | 2028 | 1336                            | -2036     | 3421     | -450  | 1,07    | 397   |
| 34 | 2029 | 1345                            | -1908     | 3614     | -444  | 1,23    | 398   |
| 35 | 2030 | 1354                            | -1740     | 3393     | -438  | 1,21    | 399   |
| 36 | 2031 | 1336                            | -1637     | 3788     | -430  | 1,44    | 401   |
| 37 | 2032 | 1313                            | -1532     | 3662     | -421  | 1,43    | 402   |
| 38 | 2033 | 1318                            | -1452     | 3812     | -412  | 1,54    | 404   |
| 39 | 2034 | 1336                            | -1410     | 4052     | -404  | 1,69    | 406   |
| 40 | 2035 | 1332                            | -1404     | 3848     | -395  | 1,59    | 407   |
| 41 | 2036 | 1318                            | -1587     | 3963     | -462  | 1,52    | 409   |
| 42 | 2037 | 1316                            | -1502     | 3734     | -456  | 1,46    | 410   |
| 43 | 2038 | 1338                            | -1385     | 3880     | -450  | 1,60    | 412   |
| 44 | 2039 | 1347                            | -1226     | 4063     | -444  | 1,76    | 413   |
| 45 | 2040 | 1331                            | -1032     | 3792     | -438  | 1,72    | 415   |
| 46 | 2041 | 1322                            | -913      | 4291     | -430  | 2,01    | 417   |
| 47 | 2042 | 1342                            | -805      | 4054     | -421  | 1,97    | 419   |
| 48 | 2043 | 1363                            | -729      | 4296     | -412  | 2,13    | 421   |
| 49 | 2044 | 1356                            | -693      | 4506     | -404  | 2,25    | 424   |
| 50 | 2045 | 1341                            | -685      | 4272     | -395  | 2,14    | 426   |
| 51 | 2046 | 1359                            | -855      | 4477     | -462  | 2,13    | 428   |
| 52 | 2047 | 1383                            | -744      | 4141     | -456  | 2,04    | 430   |
| 53 | 2048 | 1385                            | -594      | 4388     | -450  | 2,23    | 432   |
| 54 | 2049 | 1365                            | -403      | 4523     | -444  | 2,38    | 434   |
| 55 | 2050 | 1363                            | -184      | 4244     | -438  | 2,35    | 437   |
| 56 | 2051 | 1385                            | -52       | 4816     | -430  | 2,70    | 440   |
| 57 | 2052 | 1394                            | 58        | 4480     | -421  | 2,60    | 442   |
| 58 | 2053 | 1376                            | 130       | 4827     | -412  | 2,79    | 445   |
| 59 | 2054 | 1362                            | 166       | 4974     | -404  | 2,88    | 448   |
| 60 | 2055 | 1375                            | 183       | 4754     | -395  | 2,79    | 451   |

|     |      |      |      |      |      |      |     |
|-----|------|------|------|------|------|------|-----|
| 61  | 2056 | 1398 | 35   | 5011 | -462 | 2,82 | 453 |
| 62  | 2057 | 1384 | 180  | 4588 | -456 | 2,69 | 456 |
| 63  | 2058 | 1361 | 367  | 4940 | -450 | 2,93 | 459 |
| 64  | 2059 | 1362 | 591  | 5000 | -444 | 3,07 | 462 |
| 65  | 2060 | 1379 | 832  | 4755 | -438 | 3,08 | 465 |
| 66  | 2061 | 1376 | 974  | 5359 | -430 | 3,43 | 469 |
| 67  | 2062 | 1352 | 1086 | 4950 | -421 | 3,29 | 472 |
| 68  | 2063 | 1344 | 1158 | 5399 | -412 | 3,53 | 475 |
| 69  | 2064 | 1361 | 1201 | 5462 | -404 | 3,59 | 479 |
| 70  | 2065 | 1370 | 1237 | 5295 | -395 | 3,54 | 483 |
| 71  | 2066 | 1360 | 1121 | 5563 | -462 | 3,58 | 486 |
| 72  | 2067 | 1344 | 1305 | 5085 | -456 | 3,43 | 490 |
| 73  | 2068 | 1358 | 1531 | 5532 | -450 | 3,76 | 493 |
| 74  | 2069 | 1378 | 1787 | 5503 | -444 | 3,88 | 497 |
| 75  | 2070 | 1371 | 2049 | 5326 | -438 | 3,92 | 501 |
| 76  | 2071 | 1356 | 2200 | 5920 | -430 | 4,27 | 505 |
| 77  | 2072 | 1365 | 2315 | 5476 | -421 | 4,12 | 510 |
| 78  | 2073 | 1393 | 2394 | 6009 | -412 | 4,43 | 514 |
| 79  | 2074 | 1402 | 2453 | 5982 | -404 | 4,45 | 518 |
| 80  | 2075 | 1389 | 2518 | 5896 | -395 | 4,44 | 523 |
| 81  | 2076 | 1399 | 2441 | 6133 | -462 | 4,49 | 527 |
| 82  | 2077 | 1427 | 2670 | 5642 | -456 | 4,38 | 532 |
| 83  | 2078 | 1448 | 2937 | 6159 | -450 | 4,76 | 536 |
| 84  | 2079 | 1442 | 3224 | 6043 | -444 | 4,84 | 541 |
| 85  | 2080 | 1436 | 3505 | 5958 | -438 | 4,93 | 546 |
| 86  | 2081 | 1459 | 3667 | 6502 | -430 | 5,28 | 552 |
| 87  | 2082 | 1489 | 3790 | 6066 | -421 | 5,15 | 557 |
| 88  | 2083 | 1491 | 3884 | 6652 | -412 | 5,48 | 562 |
| 89  | 2084 | 1481 | 3969 | 6545 | -404 | 5,47 | 568 |
| 90  | 2085 | 1493 | 4073 | 6557 | -395 | 5,53 | 573 |
| 91  | 2086 | 1530 | 4045 | 6728 | -462 | 5,59 | 579 |
| 92  | 2087 | 1541 | 4322 | 6266 | -456 | 5,51 | 584 |
| 93  | 2088 | 1527 | 4631 | 6817 | -450 | 5,91 | 590 |
| 94  | 2089 | 1525 | 4949 | 6632 | -444 | 5,97 | 596 |
| 95  | 2090 | 1549 | 5250 | 6647 | -438 | 6,14 | 602 |
| 96  | 2091 | 1568 | 5425 | 7111 | -430 | 6,45 | 609 |
| 97  | 2092 | 1558 | 5564 | 6727 | -421 | 6,33 | 615 |
| 98  | 2093 | 1546 | 5683 | 7326 | -412 | 6,67 | 622 |
| 99  | 2094 | 1562 | 5807 | 7164 | -404 | 6,66 | 628 |
| 100 | 2095 | 1586 | 5960 | 7274 | -395 | 6,80 | 635 |
| 101 | 2096 | 1591 | 5987 | 7355 | -462 | 6,83 | 642 |
| 102 | 2097 | 1573 | 6317 | 6963 | -456 | 6,79 | 649 |
| 103 | 2098 | 1578 | 6669 | 7507 | -450 | 7,22 | 656 |
| 104 | 2099 | 1604 | 7018 | 7283 | -444 | 7,29 | 663 |
| 105 | 2100 | 1613 | 7340 | 7390 | -438 | 7,50 | 671 |

# Livros Grátis

( <http://www.livrosgratis.com.br> )

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)  
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)  
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)  
[Baixar livros de Matemática](#)  
[Baixar livros de Medicina](#)  
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)  
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)  
[Baixar livros de Meteorologia](#)  
[Baixar Monografias e TCC](#)  
[Baixar livros Multidisciplinar](#)  
[Baixar livros de Música](#)  
[Baixar livros de Psicologia](#)  
[Baixar livros de Química](#)  
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)  
[Baixar livros de Serviço Social](#)  
[Baixar livros de Sociologia](#)  
[Baixar livros de Teologia](#)  
[Baixar livros de Trabalho](#)  
[Baixar livros de Turismo](#)