ÍNDICE

4.1.2 - Clima (Item 4.1.1_93 a 99 do TR) 1/46

4.1.2.1 - Aspectos Metodológicos (Item 4.1.1_96 do TR) 1/46

4.1.2.2 - Considerações Iniciais 3/46

4.1.2.3 - Dinâmica Atmosférica e Fenômenos Meteorológicos (Item 4.1.1_94 e 95 do TR) 3/46

4.1.2.3.1 - Circulação Geral da Atmosfera 3/46

4.1.2.3.2 - Zona de Convergência Intertropical e Massas de Ar Atmosférico 6/46

4.1.2.3.3 - Sistemas Convectivos de Escala Regional 8/46

4.1.2.3.4 - Sistemas Ondulatórios e Frontais 9/46

4.1.2.3.5 - El Niño e La Niña (Item 4.1.1_99 do TR) 10/46

4.1.2.3.6 - Nível Ceráunico (Item 4.1.1_95 do TR) 15/46

4.1.2.4 - Caracterização Climática da Região Sudeste 22/46

4.1.2.4.1 - Caracterização Climática da Área de Influência Indireta 24/46

4.1.2.4.2 - Parâmetros Meteorológicos Atuantes (Item 4.1.1_93 do TR) .. 25/46

4.1.2.5 - Análise Integrada dos Parâmetros Meteorológicos e Fenômenos Climáticos (Item 4.1.1_93 do TR) 39/46

4.1.2.6 - Análise de Alterações sobre o Microclima Local (Item 4.1.1_97 do TR) 40/46

4.1.2.7 - Considerações sobre a Emissão dos Gases do Efeito Estufa (GEE) em Reservatórios (Item 4.1.1_98 do TR) 44/46

Legendas

Quadro 4.1.2-1 - Estações utilizadas para análise e caracterização do Clima – AAR e AII 2/46

Figura 4.1.2-1 - Características Globais - El Niño (CPTEC, 2008) 11/46

Quadro 4.1.2-2 - Ocorrências e intensidades – El Niño e La Niña 12/46

Figura 4.1.2-2 - Características Globais - La Niña (CPTEC, 2008)..... 13/46

Figura 4.1.2-3 - Eventos de El Niño na região NINO 3-Oceano Atlântico..... 14/46

Figura 4.1.2-4 - Cobertura de sensores remotos da rede BrasilDat..... 18/46

Figura 4.1.2-5 - Nível Ceráunico Atuante na AII da UHE Itaocara..... 20/46

Quadro 4.1.2-3 - Ranking de Incidência de Descargas Atmosféricas por Município 20/46

Figura 4.1.2-6 - Densidade de Descargas Atmosféricas por Município..... 21/46

Figura 4.1.2-7 - Variação Percentual da Densidade de Descargas Atmosféricas..... 22/46

Figura 4.1.2-8 – Pressão Atmosférica 26/46

Figura 4.1.2-9 – Temperatura Máxima Absoluta 27/46

Figura 4.1.2-10 – Temperatura Mínima Absoluta 28/46

Figura 4.1.2-11 – Temperaturas Médias Compensadas..... 28/46

Figura 4.1.2-12 – Umidade Relativa do Ar 29/46

Figura 4.1.2-13 - Evapotranspiração Total Média..... 31/46

Figura 4.1.2-14 - Precipitação Total Acumulada 32/46

Figura 4.1.2-15 – Insolação Total Anual 34/46

Figura 4.1.2-16 – Nebulosidade Total Anual 35/46

Figura 4.1.2-17 – Rosa-dos-Ventos 36/46

Quadro 4.1.2-4 - Incidência e Velocidade Média de Ventos – Estação Santa Maria Madalena 37/46

Quadro 4.1.2-5 - Direções Predominantes e Frequência Média Anual 38/46

Figura 4.1.2-18 - Anemograma – Direção e Frequência Acumulada de ventos para a AII e entorno 38/46

4.1.2 - Clima (Item 4.1.1_93 a 99 do TR)

4.1.2.1 - Aspectos Metodológicos (Item 4.1.1_96 do TR)

AAR e AII

O diagnóstico de clima e condições meteorológicas da Área de Abrangência Regional – AAR e Área de Influência Indireta – AII da UHE Itaocara foi realizado com base em dados secundários e bibliografia publicada e na análise das séries históricas dos seguintes parâmetros: regime de chuvas (precipitação e pluviometria), temperatura do ar, umidade relativa do ar, nebulosidade, pressão atmosférica, evapotranspiração, insolação e regime de ventos (direção, velocidade, influência de massas de ar e sazonalidade). Os fenômenos meteorológicos extremos, como o El Niño e La Niña, e as áreas afetadas, foram abordados, citando períodos de avanço e principais consequências em macroescala, segundo consulta indireta feita ao CPTEC-INPE, INMET e à bibliografia disponível.

A aquisição de parâmetros climatológicos das Estações Meteorológicas Convencionais de Cordeiro e Itaperuna, feita junto ao INMET (2009b), buscou a composição de uma série histórica de dados utilizados para a caracterização do clima na AAR do empreendimento. A escolha destas estações se deu pelas suas condições de características de altitude e localização geográfica-geomorfológica em relação à UHE Itaocara, além da consideração da contribuição hídrica das microbacias de drenagem ao sistema hidrelétrico, as quais foram consideradas representativas para a caracterização da Área de Abrangência Regional. Por outro lado, não existem estações meteorológicas mais próximas ao empreendimento que possibilitem inferências quanto à caracterização climática local em relação aos parâmetros meteorológicos utilizados, de modo que possam apresentar dados representativos, em período histórico mínimo de 30 anos, para devida caracterização e classificação.

Da mesma forma, para a caracterização e análise da dinâmica de ventos atuante na região do empreendimento foi utilizada a mesma metodologia empregada para a aquisição dos dados dos parâmetros meteorológicos, objetivando a construção de um mosaico geográfico-geomorfológico e da dinâmica de ventos exercida sobre o espelho d'água a ser formado pelo reservatório, buscando a análise da dinâmica de ondas (Efeito Fetch). Desta forma, foram utilizados os dados meteorológicos da Estação Santa Maria Madalena, disponibilizados pelas Plataformas de Coleta de Dados (CPTEC-INPE, 2009), uma vez que não existem estações cujos dados necessários para tal análise estejam disponibilizados em igual período de observação e coleta.

No **Quadro 4.1.2-1** estão relacionadas as estações utilizadas para a confecção dos estudos de clima e no **Mapa 2341-00-EIA-DE-2003 - Mapa de Localização das Estações Metereológicas** do Caderno de Mapas é apresentada sua espacialização.

Quadro 4.1.2-1 - Estações utilizadas para análise e caracterização do Clima – AAR e AII

Estação	Localização		Altitude (m)	Código	Tipo de Estação	Órgão Responsável	Período de Coleta
	N	E					
Cordeiro	7562947	773575	505,92	83718	Convencional de Superfície Meteorológica	6º DISME/INMET	1972-2008 (36 anos)
Itaperuna	7652456	827061	123,59	83695	Convencional de Superfície Meteorológica	6º DISME/INMET	1969-2007 (38 anos)
Santa Maria Madalena	7569665	809875	615	31956	Automática de Superfície Agrometeorológica	EMBRAPA/CTENERG	janeiro-dezembro de 2005 a 2007 (3 anos)

Fonte: Compilação de dados INMET e CPTEC/INPE, 2009.

Os dados de vento utilizados foram registrados durante o período de janeiro a dezembro entre os anos de 2005 e 2007, com direção do vento coletado na velocidade máxima (m/s) em altura de 10 m do solo, nos seguintes horários: 00:00h, 6:00h, 12:00h e 18:00h. A compilação e análise destes resultou em tabelas que geraram anemogramas com o objetivo de um melhor entendimento e visualização da frequência, direção e velocidade de procedência dos ventos na AII do empreendimento, buscando a análise do efeito de ondas nas margens do reservatório a ser formado.

Para a análise e caracterização do nível ceráunico atuante na AAR da UHE Itaocara foram realizadas pesquisas junto ao ELAT-INPE e utilizadas bibliografias especializadas na temática. Para um melhor entendimento da dinâmica das descargas atmosféricas sobre a região do empreendimento, foi feito um recorte territorial abrangendo, além dos municípios diretamente afetados com a criação do reservatório, municípios vizinhos presentes em um mesmo recorte geográfico-altimétrico, objetivando a promoção comparativa dos parâmetros utilizados para a densidade, frequência e incidência de raios na área de entorno à AII do empreendimento.

4.1.2.2 - Considerações Iniciais

A área de estudo para a implantação da UHE Itaocara está localizada na porção do Médio Baixo Paraíba do Sul. Devido à sua localização geográfica, a área apresenta microclima característico de região serrana tropical de altitude, muito influenciado por fatores topográficos, fatores de continentalidade, cobertura vegetal e, sobretudo, por fatores da dinâmica meteorológica de macro e meso escalas, tais como as frentes-frias.

A análise climatológica da Área de Influência Indireta da UHE abrange características de larga, meso (sistemas convectivos organizados, os complexos convectivos e os sistemas de ventos locais) e micro (dimensões de até 1 quilometro de raio, com duração de fenômenos da ordem de segundos a minutos, destacando-se basicamente os movimentos turbulentos locais).

Apresenta-se, a seguir, uma breve descrição dos sistemas meteorológicos que atuam na América do Sul, em especial no Brasil, e que influenciam nas condições atmosféricas da Área de Influência Indireta do empreendimento.

4.1.2.3 - Dinâmica Atmosférica e Fenômenos Meteorológicos (Item 4.1.1_94 e 95 do TR)

4.1.2.3.1 - Circulação Geral da Atmosfera

A configuração do escoamento médio na baixa atmosfera da América do Sul e oceanos circunvizinhos reflete os mecanismos da Circulação Geral da Atmosfera (CGA), notadamente pela presença de dois anticiclones quase–estacionários: Anticiclone do Atlântico Sul e Anticiclone do Pacífico Sul. Esses sistemas são co-responsáveis por parte das condições de tempo sobre o continente sul-americano, já que deles dependem os mecanismos de penetração de massas de ar provenientes do Continente Antártico e a geração de sistemas de meso-escala continentais.

Um sistema de grande escala presente na América do Sul é o Anticiclone Subtropical do Pacífico Sul (ASPS). A circulação atmosférica na sua borda leste é induzida pela orientação da Cordilheira, cuja direção predominante é sul–norte, estabelecendo assim, um escoamento induzido de ar frio e seco, que associado à corrente fria de Humboldt determina uma condição de grande estabilidade atmosférica em baixos níveis.

Outro sistema que atua na América do Sul e diretamente no Brasil é o Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS), também conhecido como Alta de Santa Helena ou Alta de Ascension, que apresenta no mês de janeiro seu centro posicionado próximo a 25ºS-20ºW. Atua na parte leste do continente Sul-americano durante quase todo o ano, ocasionando, à exceção do oeste da Amazônia, ventos de E a NE. A temperatura em seu interior é relativamente elevada, principalmente no verão, pela intensa radiação solar incidente sobre o sistema.

No inverno, o ASAS exerce uma maior penetrabilidade continental, influenciando os setores leste e central do Brasil equatorial. Os estados da região Sudeste, também ficam sob seu domínio e em condições de maior estabilidade atmosférica.

O Anticiclone Continental (AC) constitui-se em outro sistema típico quase-estacionário, que atua no interior do continente sul-americano nos meses de verão.

A Alta da Bolívia (AB) ocupa, preferencialmente, a Região Centro-Oeste, de 10ºS a 25ºS e de 52ºW a 72ºW, com centro posicionado em torno de 17ºS-62ºW. É gerada no verão a partir da liberação de calor latente pelo forte aquecimento convectivo da atmosfera sobre a Região do Chaco, formando uma área de baixa pressão denominada Baixa do Chaco, que afeta diretamente o sul da região Centro-Oeste e parte do estado de São Paulo. No inverno, entretanto, a baixa continental posiciona-se no extremo noroeste do continente sul-americano.

No interior do continente, a presença da Baixa do Chaco gera uma extensa faixa de convergência com a circulação proveniente do ASAS, condicionando a ocorrência de convergência de umidade nos baixos níveis numa faixa orientada de noroeste para sudeste: a conhecida Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS). A ZCAS tem sido ultimamente apontada, como um dos principais sistemas formadores de precipitação, no verão, nas regiões Sudeste e Centro-Oeste.

As condições de tempo locais sofrem influências das perturbações ondulatórias, que migram e modificam-se enquanto induzidas pela circulação atmosférica dominante. Tais sistemas, como as frentes frias, são gerados na zona depressionária de latitudes médias e caracterizam-se por movimentos no sentido Pólo–Equador, embora também, existam forças de componente oeste–leste que promovem uma trajetória final predominante sudoeste-nordeste, com pequenas variações sazonais em torno dessa trajetória. No verão, as frentes frias deslocam-se, predominantemente, de sul–sudoeste para norte–nordeste, enquanto no inverno seus deslocamentos tendem a ser de oeste–sudoeste para leste–nordeste. As condições de tempo associadas à esses sistemas apresentam, normalmente, nuvens cumuliformes, com precipitações nas suas bandas frontais.

As frentes quentes, assim como as chamadas linhas de instabilidade, ocorrem preferencialmente nas latitudes tropicais, embora essas regiões estejam principalmente sujeitas aos mecanismos convectivos, tendo nas nuvens cumuliformes, seus principais agentes potencias de ocorrência de tempo meteorológico. No caso das frentes quentes, o ar quente é que substitui o ar frio na superfície e o movimento é do Equador para os pólos, no sentido noroeste–sudeste.

Na situação em que a massa de ar frio não consegue avançar sobre a massa de ar quente, surge a denominada Frente Estacionária. A precipitação associada a este sistema é geralmente fraca e de origem estratiforme. Durante o verão, a nebulosidade frontal que chega ao sul do país associa-se à nebulosidade da Baixa do Chaco, intensificando-se. Nessa época do ano, os sistemas frontais podem se manter semi-estacionados no litoral da região Sudeste devido à presença de vórtices ciclônicos em altos níveis na região Nordeste. A permanência dos sistemas frontais sobre essa região organiza a convecção tropical nas regiões Central e Norte do Brasil e caracteriza a formação da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS).

Os ciclones extra–tropicais são áreas de baixas pressões, típicas de latitudes médias, apresentando circulação ciclônica com ventos intensos e grande índice pluviométrico. São mais comuns no inverno, embora comecem a aparecer no outono e, ainda, sejam encontrados na primavera. É um sistema de escala sinótica, cujo deslocamento predominante se dá de SW→NE e de W→E no Hemisfério Sul.

Os sistemas frontais atuam durante todo o ano sobre a América do Sul, com maior freqüência nas latitudes mais altas e menor freqüência nas latitudes mais baixas, sendo um dos maiores causadores de distúrbios meteorológicos sobre o Brasil. A interação entre a convecção tropical e um sistema frontal ocorre, mais freqüentemente, quando este último encontra-se na faixa latitudinal entre 20ºS e 35ºS.

Um Anticiclone Polar constitui-se numa massa de ar frio que tem origem sobre os continentes polares em ambos extremos do globo. No Hemisfério Sul, apresenta circulação anti-horária, com ventos divergentes à superfície orientados para a zona depressionária subantártica.

O Anticiclone Polar Migratório (APM) é caracterizado por ser uma extensa área de alta pressão, constituída de ar muito frio, denso e seco. O APM não é estacionário e tampouco retrocede a sua posição de origem. Tal sistema, depois de formado, pode invadir com rapidez o continente Sul-americano. Apresenta um alto grau de estabilidade em sua porção central devido à subsidência, proporcionando condições de céu claro e boa visibilidade. À medida que se desloca para latitudes

mais baixas, um APM absorve calor e umidade da superfície do mar, relativamente mais quente, mudando gradativamente suas características iniciais e se tornando cada vez mais instável de acordo com sua trajetória.

Por outro lado, durante o inverno, pode-se notar, com mais nitidez, o contraste térmico entre as massas de ar tropical e polar, separadas pela zona frontal no interior do continente. A passagem de intensas massas polares migratórias no inverno pelo Sul e Centro-oeste do Brasil pode causar geadas nessas regiões, principalmente, nas localidades situadas a grandes elevações e em fundos de vales.

Durante o inverno, um APM apresenta-se mais freqüente e intenso e com dimensões superiores do que apresenta normalmente no verão, outono e primavera. Ao atingir o continente, um APM sofre grandes efeitos de atrito, face à topografia acidentada da superfície, sujeitando-se a freqüentes bloqueios em seu deslocamento, enfraquecendo ou dissipando-se ao entrar em contato com a convergência da baixa continental (Baixa do Chaco) ou com o ASAS.

No verão, as frentes frias podem permanecer quase-estacionárias sobre a região sudeste do Brasil em função do chamado bloqueio atmosférico. Como conseqüência, células convectivas de grandes dimensões verticais passam a se organizar em faixas entre 15ºS/20ºS e 40ºW/50ºW, ocasionando prolongadas precipitações de caráter intenso.

Deve-se enfatizar ainda, que a frente polar quando em caráter quase–estacionário, pode apresentar uma condição peculiar pós-frontal, como a ocorrência de precipitações de caráter leve e contínuo, associada a uma nebulosidade estratiforme. Nessa situação prevalece uma circulação marítima, com ventos predominantemente soprando do oceano para o continente nas regiões Sul e Sudeste.

4.1.2.3.2 - Zona de Convergência Intertropical e Massas de Ar Atmosférico

A Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) forma-se nas áreas de baixas latitudes e consiste na região de convergência dos ventos alísios provenientes do SE com os do NE, criando ascendência de massas de ar normalmente úmidas. Dinamicamente, a ZCIT está associada a uma faixa de baixa pressão e convergência do escoamento nos baixos níveis da atmosfera, a qual promove as condições favoráveis ao movimento ascendente e consequente presença de nebulosidade e precipitação. Também é conhecida como Equador Meteorológico, Descontinuidade Tropical, Zona Intertropical de Convergência, Frente Intertropical, além de outros.

A ZCIT, acompanhando o Equador Térmico (isoterma da máxima temperatura do globo que segue pelas massas d'água dos oceanos, adentrando os continentes), sobre a América do Sul se desloca aproximadamente 5ºS no mês de março e 10ºN em setembro (Mendonça & Danni-Oliveira, 2007). A posição da ZCIT condiciona a pluviosidade regional.

Devido ao fato de a posição da ZCIT ser predominantemente sobre os oceanos, é observado que seu mecanismo modifica-se conforme se apresentam anomalias na temperatura da água.

Outro fator climático importante para incremento ou declínio do índice de precipitação é a Massa Equatorial do Atlântico Norte e a do Atlântico Sul (respectivamente MEAN e MEAS) que são formadas nos anticiclones dos Açores (ao norte) e Santa Helena (ao sul), sendo atraídas para o continente devido à diferença de pressão entre continente e oceano. A MEAN atua principalmente na porção norte e a MEAS no extremo nordeste da América do Sul.

A maior amplitude térmica ocorre no verão, quando o anticiclone dos Açores é impulsionado para sul pelo ar frio vindo do Hemisfério Norte, originando a MEAN. Sua maior expressividade se dá devido à influência do anticiclone Santa Helena, favorecendo sua atuação sobre a região Nordeste do território brasileiro.

A Massa Tropical Atlântica (MTA) também tem influência direta sobre o local, conferindo ainda mais umidade atmosférica e calor. Sua maior contribuição advém no período de verão, cujas correntes de leste e sudeste trazem maior expressividade às características de tropicalidade inerente à região.

A Massa Equatorial Continental (MEC) é formada pela divergência dos ventos alísios ou *doldrums* (localizados na porção centro-ocidental da Planície Amazônica), caracterizada pela elevada temperatura, umidade e proximidade do Equador.

Molion (1993) estuda as circulações de macro e meso-escala que atuam na Amazônia e os processos dinâmicos que organizam e promovem a precipitação naquela área. Segundo este autor, os mecanismos que provocam chuva na região geográfica de transição entre a Amazônia Legal e o Sertão Nordestino podem ser agrupados em 3 tipos:

- convecção diurna resultante do aquecimento da superfície e condições de larga-escala favoráveis;
- linhas de instabilidade originadas na costa N-NE do litoral do Atlântico;

- aglomerados convectivos de meso e larga escala, associados com a penetração de sistemas frontais nas regiões Sul e Sudeste do Brasil e interagindo com a região Amazônica.

4.1.2.3.3 - Sistemas Convectivos de Escala Regional

A região Sudeste também está submetida aos chamados Sistemas Convectivos de Mesoescala (SCME) ou de Escala Regional, que são definidos como "qualquer agrupamento de nuvens convectivas com forma linear ou circular e que, em algum estágio do ciclo de vida, contenha núcleos convectivos nas regiões adjacentes originárias ou não desses núcleos". No espectro dos SCME destacam-se as Linhas de Instabilidade Tropicais, os Complexos Convectivos de Mesoescala e os sistemas de brisas.

As Linhas de Instabilidade Tropicais (LITs) são depressões barométricas, na forma de linhas organizadas em pequenas dorsais, associadas aos sistemas de alta pressão originários do interior do continente, em especial nos meridianos de 45º a 40ºW, sendo muito freqüentes durante o verão e raras durante o inverno.

A região Sudeste apresenta um clima bastante diversificado devido a vários fatores, como: a posição latitudinal e longitudinal, a topografia e as influências de ordem dinâmica, por exemplo, a predominância de frentes frias. A região Sudeste apresenta-se como unidade climatológica, por ser uma zona de equilíbrio dinâmico entre as correntes perturbadas de altas tropicais e altas polares. Disto decorre a característica de transição na climatologia regional do Sudeste. A formação e existência das LITs coincidem com a grande disponibilidade de umidade na Amazônia. Esta umidade, em função do giro anticiclônico dos ventos sobre o território brasileiro e, também, em função da barreira formada pela Cordilheira Andina é transportada, predominantemente, para sudeste.

Os Complexos Convectivos de Mesoescala (CCME) constituem-se em conjuntos de nuvens cumulonimbos, cobertos por densa camada de cirrus, que podem ser facilmente identificados em imagens de satélites como sendo sistemas de nuvens aproximadamente circulares, e com um crescimento explosivo num intervalo de tempo de 6 a 12 horas. Durante o verão, tais sistemas surgem, preferencialmente, nas regiões serranas da região Sudeste. A trajetória de um CCME tem geralmente início a leste dos Andes, aproximadamente a 25ºS, e sobre os vales dos rios Paraná e Paraguai.

As brisas marítimas podem atingir algumas dezenas de quilômetros continente adentro, transportando umidade de modo eficiente no sentido oceano–continente.

Além dos mecanismos apontados acima, o regime de precipitação inter-anual em grande parte do Brasil é influenciado pelo mecanismo conjunto El Niño/Oscilação do Sul, denominado por ENSO (El Niño - Southern Oscillation).

4.1.2.3.4 - Sistemas Ondulatórios e Frontais

As condições de tempo no Brasil normalmente são influenciadas por perturbações ondulatórias, como as frentes frias e linhas de instabilidade, que atuam em praticamente todas as latitudes do Planeta.

As frentes frias são geradas na zona de transição entre a massa tropical e a massa polar migratória. Deslocam-se no sentido Pólo–Equador, embora também existam forças de componente oeste–leste, resultando em trajetórias predominantes de sudoeste–nordeste no Hemisfério Sul, com pequenas variações sazonais em torno dessa trajetória média. No verão, as frentes frias deslocam-se predominantemente de sul–sudoeste (SSW) para norte–nordeste (NNE), enquanto, no inverno, seu deslocamento tende a ser de oeste–sudoeste (WSW) para leste–nordeste (ENE).

As frentes quentes, assim como as chamadas linhas de instabilidade, ocorrem preferencialmente nas latitudes tropicais, embora essas regiões estejam principalmente sujeitas aos mecanismos convectivos, tendo nas nuvens cumuliformes seus principais agentes potencias de ocorrência de tempo meteorológico.

Um Anticiclone Polar constitui-se numa massa de ar que tem origem no continente Antártico (para o Hemisfério Sul) ou Ártico (para o Hemisfério Norte). Para o Hemisfério Sul, o referido sistema apresenta circulação anti-horária, com ventos divergentes à superfície dirigidos para a zona depressionária subantártica. Os Anticiclones Polares Migratórios (APMs), então formados, passam a invadir periodicamente o Continente Sul Americano, a partir de uma trajetória média dirigida de sudoeste (SW) para nordeste (NE).

Os sistemas frontais atuam durante o ano todo sobre a América do Sul, com frequências maiores nas latitudes mais altas e menores, nas latitudes mais baixas, sendo um dos maiores causadores de distúrbios meteorológicos sobre o Brasil. A interação entre a convecção tropical e os sistemas frontais ocorrem mais frequentemente quando estes últimos se encontram na faixa latitudinal entre 20°S e 35°S. Na região Nordeste, esses sistemas penetram mais raramente, entrando em dissipação, na maioria das vezes, sobre o estado da Bahia. No entanto, ao atingirem o extremo Nordeste brasileiro, o fazem com relativa atividade, provocando chuvas constantes e intermitentes.

No verão, as frentes frias que chegam ao sul do Brasil associam-se, em sua parte continental, à Baixa do Chaco, intensificando-se. Nessa época do ano, os sistemas frontais podem se manter semi-estacionados no litoral da região Sudeste devido à presença de vórtices ciclônicos em altos níveis na região Nordeste. A permanência dos sistemas frontais sobre esta zona climática organiza a convecção tropical nas regiões Central e Norte do Brasil e caracteriza a formação da Zona de Convergência do Atlântico Sul.

Por outro lado, durante o inverno, pode-se notar, com mais nitidez, o contraste térmico entre a MTA e a MPA (Massa Polar Atlântica), separadas pela zona frontal no interior do continente. A passagem de intensas massas polares migratórias no inverno, pelo sul, sudeste e centro-oeste do Brasil, pode causar geada nessas regiões, sobretudo nas localidades situadas a grandes elevações e em fundos de vales.

4.1.2.3.5 - El Niño e La Niña (Item 4.1.1_99 do TR)

O fenômeno El Niño é caracterizado pelo aquecimento anômalo das águas superficiais do Oceano Pacífico Equatorial Oriental. O aquecimento e o subsequente resfriamento num episódio típico de El Niño duram de 12 a 18 meses. A evolução típica do fenômeno mostra uma tendência de iniciar-se no começo do ano, atingindo sua máxima intensidade durante dezembro daquele mesmo ano e janeiro do ano seguinte, vindo a se enfraquecer na metade desse segundo ano.

O aumento dos fluxos de calor sensível e de vapor d'água para a atmosfera, ocasionado pelas elevações das águas superficiais do Oceano Pacífico Equatorial, provoca mudanças na circulação atmosférica e na precipitação em escala regional e global, que, por sua vez, provocam mudanças nas condições meteorológicas e climáticas em várias partes do mundo.

Estudos recentes indicam que principalmente três regiões no Brasil – o semi-árido nordestino, as porções Norte e Leste da Amazônia e a região Sul e suas vizinhanças imediatas (São Paulo, sul do Rio de Janeiro e de Minas Gerais) – são afetadas de maneira pronunciada pelas mudanças na circulação atmosférica durante episódios de El Niño.

A região Sul do Brasil é afetada por aumento de precipitação, particularmente durante a primavera no ano de atuação do fenômeno climático e, posteriormente, no fim do outono e início do inverno do ano seguinte. O norte e o leste da Amazônia e o Nordeste do Brasil são afetados pela diminuição da precipitação, principalmente, no último, entre fevereiro e maio, quando se tem a estação chuvosa do semi-árido. O Sudeste do Brasil apresenta temperaturas mais altas, tornando o inverno mais ameno. Já para as demais regiões do país, os efeitos são menos pronunciados e variam de um episódio para o outro.

O fenômeno El Niño caracteriza-se por uma conjunção entre um componente oceânico e outro atmosférico. A variação da Temperatura da Superfície do Mar (TSM) influencia diretamente a circulação regional e por consequência na global, com fluxos anômalos de calor e vapor d'água, causando perturbações na atmosfera, acarretando valor negativo ou positivo no Índice de Oscilação Sul (IOS).

A **Figura 4.1.2-1** representa os principais arranjos e consequências do fenômeno El Niño no mundo.

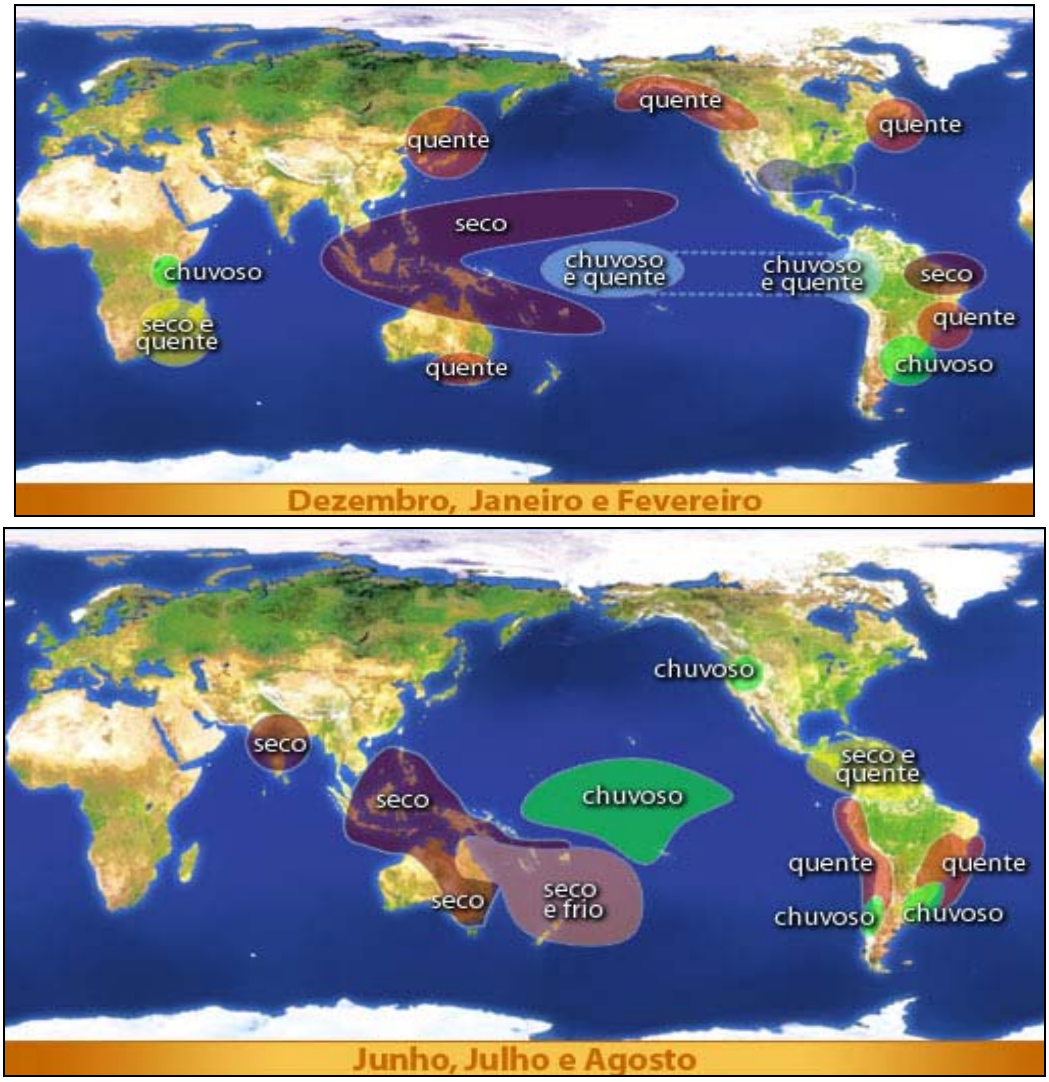


Figura 4.1.2-1 - Características Globais - El Niño (CPTEC, 2008)

No **Quadro 4.1.2-2** estão apresentados os períodos de ocorrência dos fenômenos de El Niño e La Niña e suas respectivas intensidades.

Quadro 4.1.2-2 - Ocorrências e intensidades – El Niño e La Niña

El Niño	
1877 - 1878	1888 – 1889
1896 - 1897	1899
1902 - 1903	1905 – 1906
1911 - 1912	1913 – 1914
1918 - 1919	1923
1925 - 1926	1932
1939 - 1941	1946 – 1947
1951	1953
1957 - 1959	1963
1965 - 1966	1968 – 1970
1972 - 1973	1976 – 1977
1977 - 1978	1979 – 1980
1982 - 1983	1986 – 1988
1990 - 1993	1994 – 1995
1997 – 1998	2002 – 2003
2004 - 2005	2006 – 2007

La Niña	
1886	1903 - 1904
1906 - 1908	1909 - 1910
1916 - 1918	1924 - 1925
1928 - 1929	1938 - 1939
1949 - 1951	1954 - 1956
1964 - 1965	1970 - 1971
1973 - 1976	1983 - 1984
1984 - 1985	1988 - 1989
1995 - 1996	1998 - 2001

Legenda:	Forte
	Moderada
	Fraco

Fonte: INMET – Glossário Online.

O resfriamento anômalo da TSM do Pacífico Tropical que resulta do fenômeno La Niña torna a Célula de Walker responsável pela circulação atmosférica local mais "alongada", caracterizando incremento no índice pluviométrico nas áreas de convectividade e decréscimo nas áreas de movimento descendente da Célula de Walker. Na região Sudeste do Brasil, no período dezembro-fevereiro em decorrência do fenômeno ocorre uma diminuição nas temperturas médias do ar, enquanto no período de junho-agosto há uma diminuição nos índices pluviométricos, acarretando na intensificação de regime pluviométrico já deficiente em algumas áreas.

A **Figura 4.1.2-2** representa os principais arranjos e consequências do fenômeno La Niña no mundo.

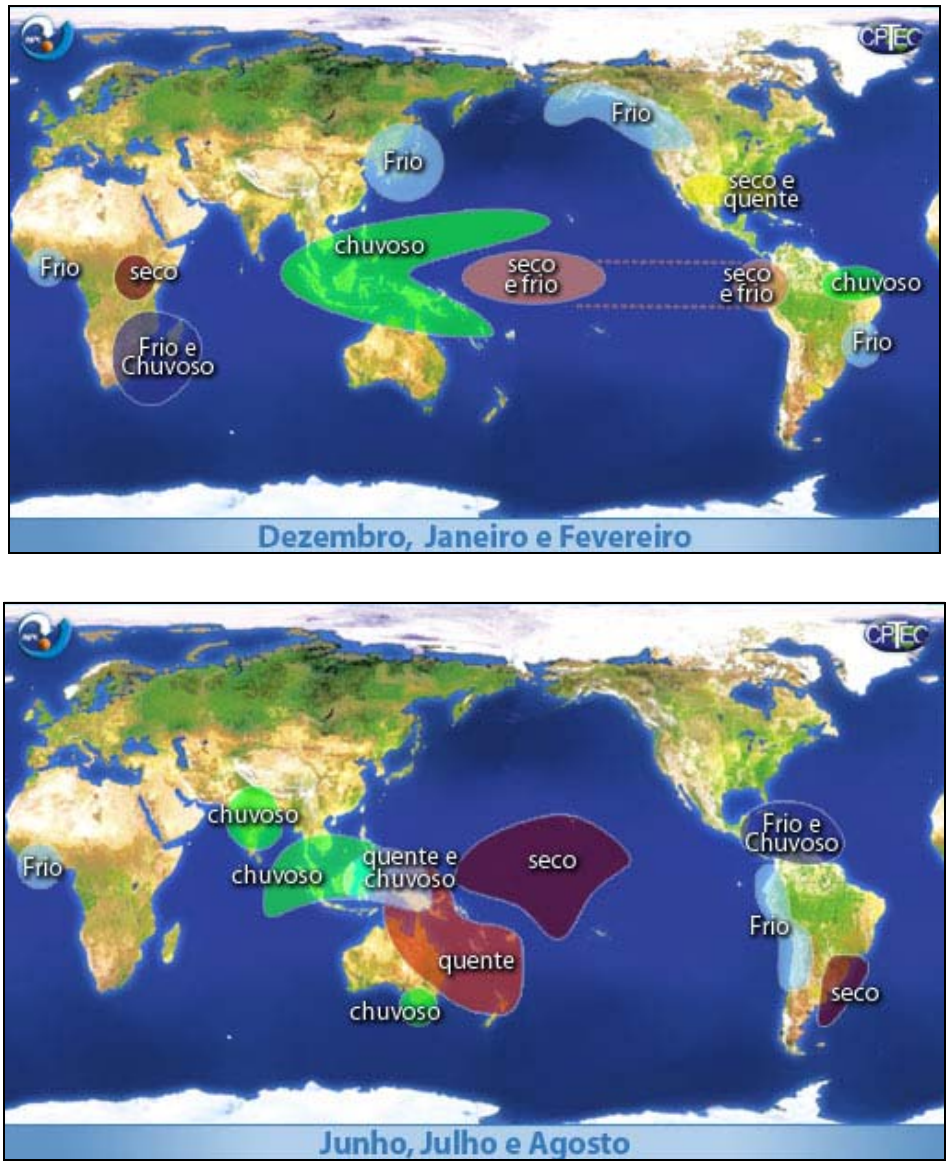


Figura 4.1.2-2 - Características Globais - La Niña (CPTEC, 2008)

Durante a fase quente da TSM (ocorrência de El Niño) as massas de ar se deslocam do Pacífico Oeste para o Pacífico Central, enquanto que em sua fase fria a morna (ocorrência de La Niña), estas massas têm seu deslocamento para o Pacífico Oeste. Contudo, tal processo não acontece exatamente desta forma em todos os anos de ocorrência dos fenômenos climáticos, podendo apresentar variações, devido ao aquecimento global.

Por meio da análise da **Figura 4.1.2-3** é possível denotar o aumento da intensidade e dos períodos de ocorrência do fenômeno de El Niño. Nos anos de 1997/98, ano de ocorrência de El Niño com forte intensidade, a TSM oscilou entre - 1,8º no verão (entre outubro e dezembro/95) e

2,8º entre os meses de outubro/97 e janeiro/98. Em 2004/2005, anos de intensidade fraca do fenômeno, a variação na temperatura da água de superfície ficou entre aproximadamente - 0,9º em dezembro/05 (Verão) e 0,7º entre julho e outubro/04 (Primavera e Verão) (CPTEC, 2008).

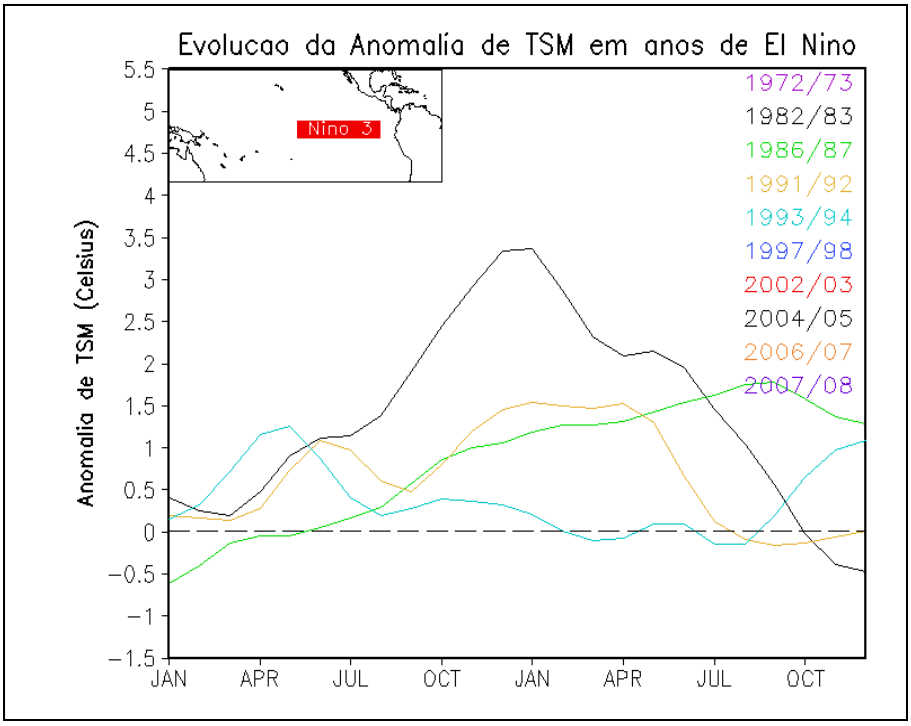


Figura 4.1.2-3 - Eventos de El Niño na região NINO 3-Oceano Atlântico

Os últimos episódios de El Niño observados tiveram duração perdurando de 6 a 15 meses, já os efeitos do fenômeno climático La Niña têm atingido duração média de 5 meses a 2 anos (CPTEC, 2008).

Os episódios de El Niño têm merecido atenção da comunidade científica internacional, dada sua reconhecida importância nas alterações meteorológicas em várias partes do mundo. Contudo, o conhecimento mais aprofundado do fenômeno é recente, pois somente a partir de 1985 foi iniciado monitoramento mais efetivo e com tecnologia moderna, a partir da implementação do Projeto Tropical Atmosphere-Ocean Array (TAO) sob os auspícios de um programa internacional denominado "Tropical Ocean Global Atmosphere (TOGA)" da NOAA – National Oceanic and Atmospheric Administration, dos Estados Unidos.

Este projeto teve como objetivo principal implantar um sistema de observação oceânica e atmosférica sobre a bacia do Pacífico Equatorial, a fim de dar suporte aos estudos de interação oceano-atmosfera de grande amplitude nas escalas de tempo sazonal e intra-anual. A necessidade de se implantar o TOGA-TAO foi aumentada devido à ocorrência do evento El-Niño

de 1982-83, o mais forte registrado neste século, até aquela época, e que não havia sido previsto, nem tampouco detectado até aproximadamente o seu estágio de maturação, face à falta de dados adequados.

No episódio mais recente de El Niño (1997-98), considerado pela Organização Meteorológica Mundial, órgão vinculado à Organização das Nações Unidas – ONU, como o mais intenso da história, os mecanismos atmosféricos estabelecidos se mantiveram até abril/maio de 1998 com intenso vigor, impedindo que as massas polares ultrapassassem o Sul do Brasil, o que levou a inundações no Rio Grande do Sul e em Santa Catarina, bem como a alteração dos mecanismos de precipitação regular sobre o Nordeste brasileiro, entre fevereiro e maio, levando à uma seca extrema a grande parte daquela região.

4.1.2.3.6 - Nível Ceráunico (Item 4.1.1_95 do TR)

O nível ceráunico constitui um bom indicador da atividade elétrica da atmosfera em dada região, sendo muito utilizado para a determinação do quantitativo e da intensidade de descargas elétricas.

Os parâmetros meteorológicos de temperatura, umidade relativa do ar, precipitação, evaporação total e nebulosidade, são bastante importantes na geração de descargas elétricas em uma determinada área, sendo, em parte, responsável pelo nível ceráunico desta região. Da mesma forma, a circulação atmosférica do ar atrelada aos aspectos geomorfológicos e localização geográfica, também contribui na intensidade e quantidade das descargas elétricas do local.

Agregado aos parâmetros e aspectos ambientais já citados, os fenômenos climáticos de El Niño e La Nina, quando em períodos de atuação na região, podem provocar modificações no regime e na caracterização do nível ceráunico. Alterando o fluxo de vapor d'água da superfície do oceano para a atmosfera, estes fenômenos provocam mudanças globais na circulação dos ventos e nas temperaturas do ar reinante, o que afeta a frequência de tempestades e, em conseqüência, a atividade de relâmpagos em um dado local. Estima-se que para cada grau de elevação da temperatura global, aumente entre 10% e 20% o número de relâmpagos no planeta, sendo a região tropical a mais afetada.

Em períodos sazonais de maior temperatura atmosférica, a ascenção do ar forma nuvens convectivas típicas de verão, quando o solo é aquecido mais rapidamente por radiação solar, perdendo para a atmosfera através da irradiação, também bastante rápido, todo calor armazenado durante o dia.

O aumento de convecção está relacionado à intensificação de formação de nuvens propícias às descargas atmosféricas elétricas. Estas estão associadas, comumente, a nuvens baixas geradas por movimentos de ascenção do ar. A fricção provocada pelos ventos ascendentes de forte intensidade entre as partículas de água e gelo existentes nas nuvens cumulunimbus, origina uma grande quantidade de cargas elétricas. As cargas elétricas positivas energizam a parte superior, enquanto as cargas negativas estão na parte inferior, acarretando assim, uma intensa troca de cargas positivas da superfície da terra para a área correspondente à presença da nuvem (Portella, 1999).

A concentração de cargas elétricas positivas e negativas faz surgir uma diferença de potencial que se denomina Gradiente de Tensão entre nuvem e terra. Porém, o ar apresenta uma determinada rigidez dielétrica em nível elevado. O aumento da diferença do gradiente de tensão poderá atingir um valor que supere a rigidez dielétrica do ar interposto entre nuvem e terra, fazendo com que as cargas elétricas negativas migrem na direção da terra, fenômeno conhecido como Descarga-Piloto (Visagro et al., 2001).

Mantendo-se elevado o gradiente de tensão na zona entre a nuvem e a terra, surge de uma das ramificações da Descarga-Piloto, em função da aproximação com o solo, uma descarga ascendente, constituída de cargas elétricas positivas, denominadas de Retorno Principal, de grande intensidade, responsável pelo fenômeno conhecido como trovão, que é o deslocamento da massa de ar circundante ao caminhamento do raio, em função da elevação da temperatura e, consequentemente, do aumento do volume. Não se tem como precisar a altura do encontro entre estes dois fluxos de cargas que caminham em sentidos opostos, mas acredita-se que seja a poucas dezenas de metros da superfície do solo.

A Descarga de Retorno atingindo a nuvem provoca, numa determinada zona da mesma, uma neutralização eletrostática temporária. Na tentativa de manter o equilíbrio dos potenciais elétricos no interior da nuvem, surgem nestas, intensas descargas que resultam na formação de novas cargas negativas na sua parte inferior, dando início às chamadas descargas reflexas ou secundárias, no sentido da nuvem para a terra, tendo como canal condutor aquele seguido pela descarga de retorno que em sua trajetória ascendente deixa o ar ionizado.

Ao procurar um caminho para sua descarga, o raio atinge pontos mais altos e pontiagudos, onde existe maior concentração de cargas. As descargas ocorrem principalmente sobre áreas com terrenos mal-condutores, como os graníticos ou xistosos, ao invés dos bons-condutores, como os calcários e coberturas sedimentares inconsolidadas. Nos terrenos isolantes (mau-condutores), há a liberação de cargas elétricas para a superfície e essas cargas propiciam a queda do raio. A

localização de áreas onde ocorrem descargas elétricas é determinada pela natureza litológica do solo e subsolo, que podem conter elementos magnéticos, condutores e/ou radioativos (Costa & Artuzi Jr.).

O Brasil, devido a sua grande extensão territorial e ao fato de estar próximo do equador geográfico, é um dos países de maior ocorrência de relâmpagos no mundo. Estima-se, com base em dados de satélite, que cerca de 60 milhões de relâmpagos nuvem-solo atinjam o solo brasileiro por ano, ou seja, cerca de dois relâmpagos por segundo. Isto equivale a uma média de aproximadamente 7 relâmpagos km².ano (ELAT-INPE, 2009).

Por outro lado, a atividade humana está afetando significativamente a quantidade e intensidade elétrica dos relâmpagos. Estudos recentes têm mostrado que a ocorrência de relâmpagos vem aumentando significativamente sobre grandes áreas urbanas em relação às áreas vizinhas. Acredita-se que este efeito esteja relacionado ao maior grau de poluição sobre estas regiões e ao fenômeno conhecido como "ilha de calor", aquecimento provocado pela impermeabilização do solo, a presença maciça de prédios e a diminuição da cobertura vegetal.

O Grupo de Eletricidade Atmosférica – ELAT, pertencente ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, detém uma rede de sensores remotos espalhados sobre uma extensa área do território brasileiro, cujo monitoramento das descargas elétricas é realizado por meio da Rede Brasileira de Detecção de Descargas Atmosféricas (BrasilDat) (**Figura 4.1.2-4**). A BrasilDat é a terceira maior rede do mundo e a primeira na região tropical do planeta, sendo resultado do esforço do ELAT (desde 1980), em parceria com diversas instituições no Brasil, na integração de três redes de detecção regionais: RINDAT (Rede Integrada Nacional de Detecção de Descargas Atmosféricas), SIPAM e SIDDEM (Sistema de Informações Integradas Baseados no Sistema de Detecção de Descargas Atmosféricas).

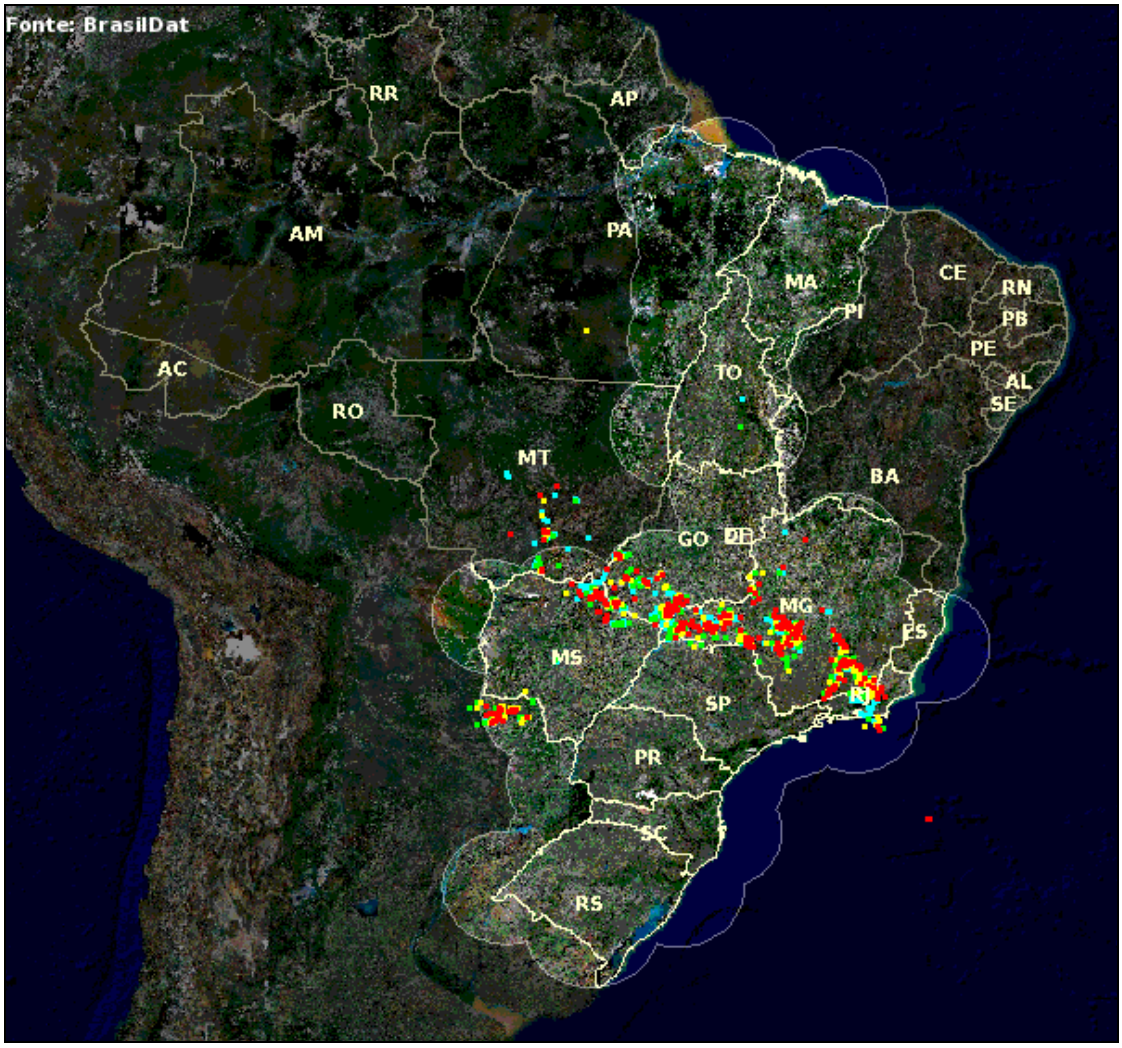


Figura 4.1.2-4 - Cobertura de sensores remotos da rede BrasilDat

A BrasilDat é um complexo instrumento de medida utilizado para detectar descargas atmosféricas que atingem o solo (genericamente denominadas nuvem-solo - NS) e identificar precisamente a localização do ponto de impacto e as características de cada uma das descargas NS (*strokes*) que compõem um relâmpago (*flash*). Isso é feito mediante uma rede de sensores remotos que detectam a radiação eletromagnética (EM) emitida pelos relâmpagos na faixa entre 10-300kHz, denominada low frequency (LF), analisam os sinais recebidos por intermédio de algoritmos específicos e eliminam aqueles cujas fontes não tenham sido descargas atmosféricas.

Cada sensor que tenha detectado um evento válido envia os dados obtidos - horário do evento, intensidade do sinal, tempo de subida e largura do pulso da forma de onda - para um sistema centralizado de processamento, conhecido como Central de Análise Avançada de Localização (Advanced Position Analyzer, APA), que compara os horários informados a fim de assegurar que

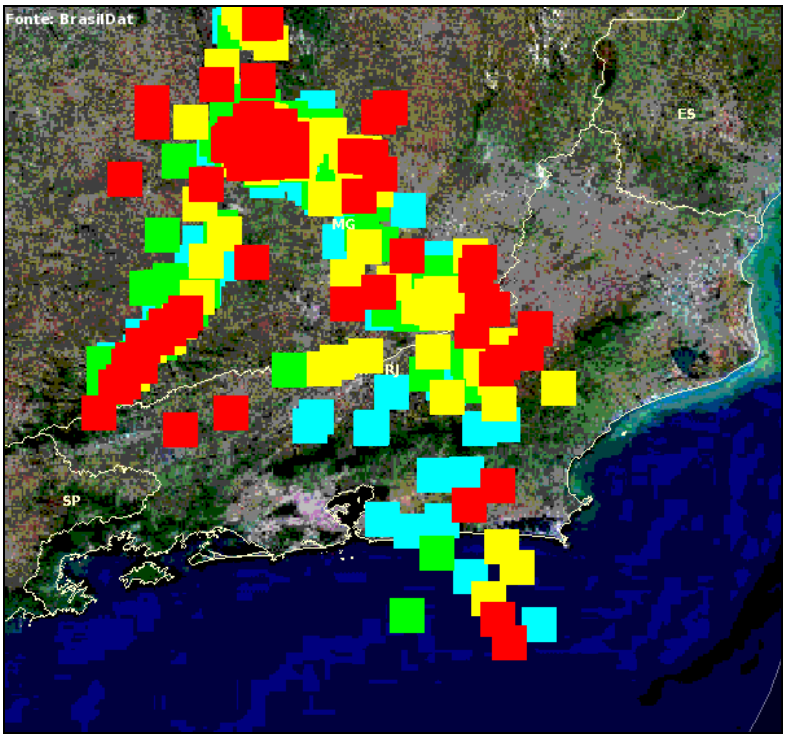
os dados sejam de um mesmo evento e, em seguida, calcula a localização ótima do ponto de impacto daquela descarga NS.

Além da localização, esse sistema pode determinar várias outras características descritivas de cada evento registrado, como a intensidade da corrente de pico, multiplicidade, polaridade, entre outras. Por fim, a APA armazena toda a informação disponível em bancos de dados específicos, permitindo assim consultas posteriores às soluções determinadas em tempo real e o reprocessamento dos dados utilizando-se diferentes padrões de configuração e diferentes combinações dos sensores que compõem a rede.

Embora no Brasil existam 6 diferentes centrais de processamento em operação recebendo os dados das diferentes redes regionais, somente a central do INPE em São José dos Campos/SP, está autorizada, através de diferentes parcerias e acordos de cooperação, a receber os dados de todos os sensores, integrando assim a rede BrasilDat, a qual começou a operar no final de 2005. As informações obtidas pela rede BrasilDat permitem conhecer melhor a distribuição geográfica e evolução temporal dos raios no Brasil e suas dependências sobre diferentes condições meteorológicas e orográficas, além de servir como suporte para diversas atividades de engenharia, meteorologia e segurança.

Durante os anos de 2005 a 2007, o ELAT-INPE mapeou de forma detalhada a ocorrência de raios em todos os municípios das Regiões Sul e Sudeste e boa parte dos municípios da Região Centro-Oeste, cujos dados formaram um ranking das cidades mais atingidas por descargas atmosféricas, compondo a Rede Brasileira de Detecção de Descargas Atmosféricas (BrasilDat).

Na AII da UHE Itaocara, segundo o mapeamento do ELAT-INPE, o nível ceráunico atuante pode ser considerado alto a muito alto. A **Figura 4.1.2-5** apresenta um detalhe da área onde será implantado o empreendimento, onde cada quadrado mostrado representa uma área de aproximadamente 20km² na qual ocorrem descargas atmosféricas.



Fonte: ELAT-INPE, 2009 - Mapa atualizado em 15/10/2009 às 20:33:05 GMT.

Legenda - Descargas atmosféricas ocorrendo a cada:

15 minutos 30 minutos 45 minutos 60 minutos

Figura 4.1.2-5 - Nível Ceráunico Atuante na AII da UHE Itaocara

Na AAR da UHE Itaocara, além dos municípios diretamente afetados com a criação do reservatório, foram selecionados outros municípios vizinhos presentes em um mesmo recorte geográfico-altimétrico, objetivando a promoção comparativa dos parâmetros utilizados para a densidade, frequência e incidência de raios na área de entorno à AII do empreendimento.

O ranking de incidência de descargas atmosféricas nos municípios selecionados na região onde será implantada a UHE Itaocara, de acordo com estudos realizados pelo ELAT-INPE durante os anos de 2005 a 2007, é apresentado no **Quadro 4.1.2-3**.

Quadro 4.1.2-3 - Ranking de Incidência de Descargas Atmosféricas por Município

Nº	Municípios	UF	Área (km²)	Biênio 2005-2006			Biênio 2007-2008			Variação (%)
				Ranking		Densidade (raios/km².ano)	Ranking		Densidade (raios/km².ano)	
				Geral	Estado		Geral	Estado		
1	Além Paraíba	MG	511	887	60	3,9763	902	149	2,9437	-26,0
2	**Estrela Dalva**	MG	132	1976	241	2,4164	1965	315	1,9321	-20,0
3	**Pirapetinga**	MG	192	2186	321	2,1155	1585	244	2,2224	5,1
4	Leopoldina	MG	942	1486	122	3,0903	1357	208	2,4351	-21,2

Nº	Municípios	UF	Área (km²)	Biênio 2005-2006			Biênio 2007-2008			Variação (%)
				Ranking		Densidade (raios/km².ano)	Ranking		Densidade (raios/km².ano)	
				Geral	Estado		Geral	Estado		
5	**Volta Grande**	MG	209	1862	203	2,5821	2025	332	1,8949	-26,6
6	**Aperibé**	RJ	89	2034	40	2,3354	2431	75	1,5695	-32,8
7	Cambuci	RJ	562	2194	55	2,1030	1972	62	1,9276	-8,3
8	**Cantagalo**	RJ	749	2343	66	1,8439	1819	60	2,0387	10,6
9	**Carmo**	RJ	321	2169	53	2,1379	1002	40	2,8239	32,1
10	Cordeiro	RJ	116	2008	39	2,3727	1631	55	2,1937	-7,5
11	Duas Barras	RJ	375	2236	61	2,0094	1239	43	2,5438	26,6
12	**Itaocara**	RJ	428	2040	41	2,3263	1716	56	2,1261	-8,6
13	Macuco	RJ	77	2089	45	2,2488	1493	51	2,3033	2,4
14	Santa Maria Madalena	RJ	816	2544	75	1,4787	2035	63	1,8896	27,8
15	**Santo Antônio de Pádua**	RJ	612	2229	59	2,0175	2126	65	1,8184	-9,9
16	São Fidélis	RJ	1.028	2277	63	1,9317	2287	71	1,6794	-13,1
17	São Sebastião do Alto	RJ	397	2490	73	1,5862	1551	54	2,2441	41,5

Fonte: ELAT-INPE, 2009. Nota: **Município** – municípios da AII de Socioeconomia.

Para um melhor entendimento dos dados apresentados no **Quadro 4.1.2-3**, foi organizado um gráfico com intuito de visualização da dinâmica do nível ceráunico existente na região de entorno à AII da UHE Itaocara, para os períodos de observação, conforme a **Figura 4.1.2-6**.

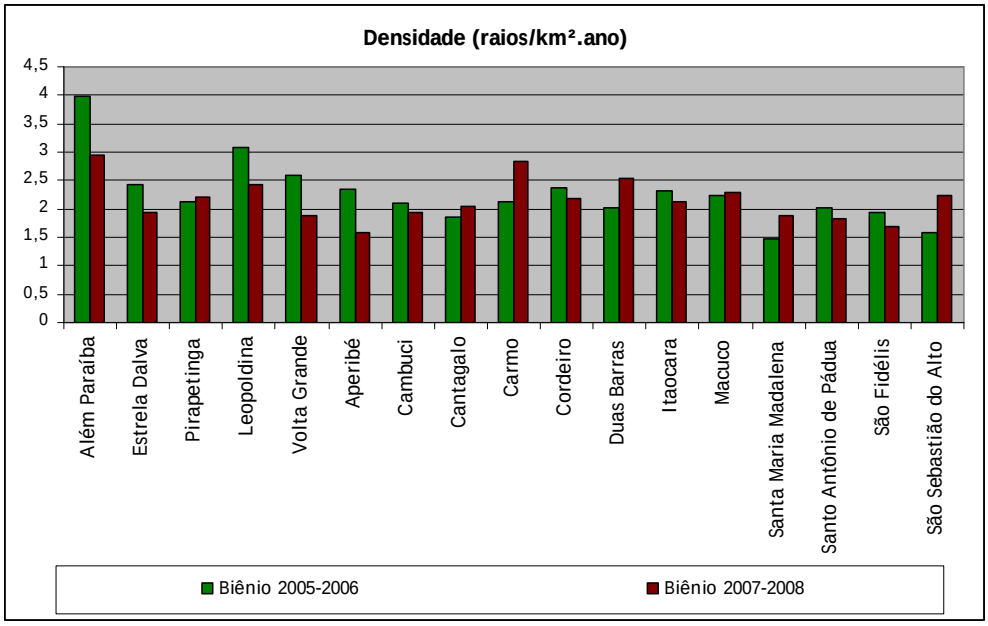


Figura 4.1.2-6 - Densidade de Descargas Atmosféricas por Município

De acordo com os resultados alcançados, os municípios que apresentaram relativa elevação no índice de descargas atmosféricas para o biênio 2007-2008 foram: Pirapetinga, Cantagalo, Carmo, Duas Barras, Macuco, Santa Maria Madalena e São Sebastião do Alto. Tendo sido a maior densidade registrada no município de Além Paraíba.

No que tange à variação das descargas atmosféricas registradas para o biênio 2005-2006 em comparação ao biênio 2007-2008, o município de São Sebastião do Alto apresentou o maior valor percentual positivo, passando de 1,5862 para 2,2441 raios/km².ano. Já a variação apresentada pelo município de Aperibé, registrou o maior valor percentual negativo, passando de 2,3354 para 1,5695 raios/km².ano, com queda de -32,8% (**Figura 4.1.2-7**).

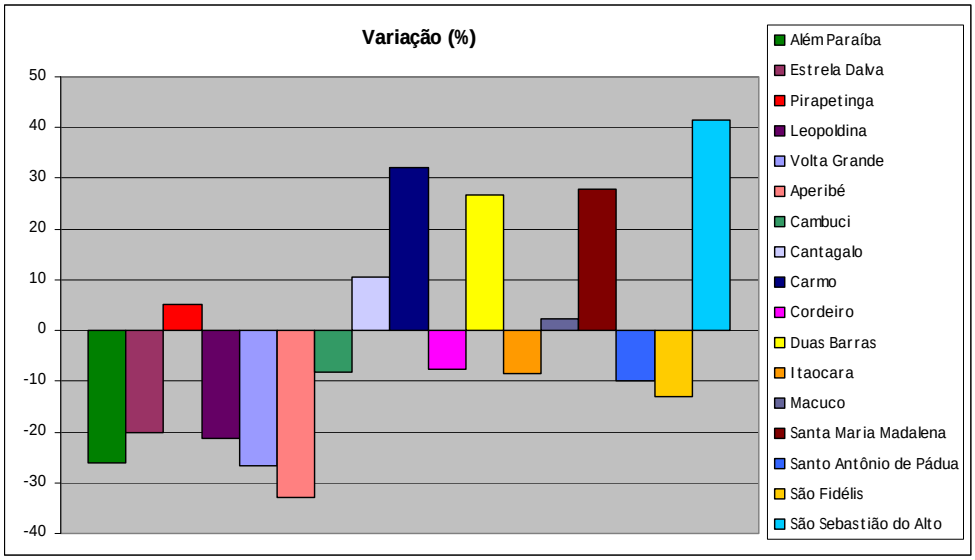


Figura 4.1.2-7 - Variação Percentual da Densidade de Descargas Atmosféricas

De modo geral, o nível ceráunico na AII da UHE Itaocara é elevado, uma vez que a densidade de incidência de raios aumentou bastante do biênio 2005-2006 para o biênio 2007-2008.

4.1.2.4 - Caracterização Climática da Região Sudeste

A região Sudeste apresenta uma alta variedade climática, em função de sua posição latitudinal, da topografia bastante acidentada e da influência dos sistemas permanentes e semi-permanentes, sistemas ondulatórios e sistemas de escala regional ou meso-escala.

O relevo da região Sudeste apresenta elevações, ondulações e é escarpado. A presença das montanhas contribui para a formação de um clima, predominantemente tropical, com mudanças sazonais significativas.

De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, cujas características climatológicas regionais se dão segundo a classificação de Köppen (1948), as médias anuais de temperatura na região Sudeste oscilam entre 19º e 28ºC, exceto na zona subtropical, onde os valores variam de 17º a 19ºC, e nas serras, onde os valores oscilam entre 15º e 20ºC. Já nos trechos litorâneos, as temperaturas médias anuais variam entre 21º e 24ºC.

No entanto, como as características climáticas são condicionadas pela conjunção de fatores endógenos atmosféricos, topográficos e em relação à proximidade de massas d'água, além de fatores antrópicos, tais como a diferença entre a cobertura de solo capeada por pavimentação (de ruas e/ou construção de prédios) e a coberta por vegetação, pelas Normais Climatológicas do período de 1961-1990 do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET (2009a), as temperaturas médias anuais oscilam entre 18º a 26ºC na região Sudeste como um todo.

No verão, devido a maior intensidade e duração do período diurno, as temperaturas médias variam de 21 a 27ºC, com maiores valores nos estados do Rio de Janeiro e Espírito Santo, oeste de São Paulo e parte leste de Minas Gerais, principalmente onde as máximas médias apresentam valores de 33 a 36ºC. Contudo, no inverno, os números caem para o intervalo de 12 a 21ºC. Neste caso, cabe destacar as baixas temperaturas nas cidades de Campos do Jordão e Itatiaia, as quais contribuem para uma diminuição destes valores médios, principalmente no inverno onde as mínimas médias oscilam entre 6 e 9ºC.

A distribuição pluviométrica da região Sudeste é bastante heterogênea, uma vez que, para as regiões de clima tropical úmido são esperadas precipitações anuais inferiores a 2.000 mm anuais, com duas estações bem definidas, a seca e a chuvosa, esta última no verão, refletindo a maior influência da massa equatorial continental e as peculiaridades orográficas. Nas porções tropicais de altitude, a média pluviométrica é de aproximadamente 1.500 mm anuais, enquanto nos trechos subtropicais variam entre 1.250 e 2.000 mm. Nas Zonas Litorâneas e escarpas da Serra do Mar, a influência do ASAS induz a uma redução dos valores de precipitação, cuja distribuição torna-se mais regular do que nas serras.

A precipitação anual varia de 900 a 2.000 mm/ano, sendo as regiões no entorno das divisas dos estados de São Paulo e Minas Gerais, aquelas onde são registrados os maiores valores de precipitação em um ano, especialmente no verão, variando de 240 a 320 mm no mês de janeiro. O norte de Minas Gerais começa a sofrer a influência do clima semi-árido da Região Nordeste e apresenta os menores índices pluviométricos do Sudeste.

A caracterização climática da AII do empreendimento e entorno também pode ser estabelecida a partir da análise descritiva dos mecanismos de circulação e de geração de fenômenos meteorológicos associados aos parâmetros estatísticos médios dos principais parâmetros, e pelos critérios de classificação de Köppen.

A classificação de Köppen (1948) é baseada nos valores médios de temperatura do ar (coletados mensal e anualmente, além das médias do mês mais frio e do mais quente) e de precipitações pluviométricas, porém sua sazonalidade não caracteriza completamente as condições ambientais de uma região, embora forneça uma descrição útil dos aspectos climáticos.

De acordo com Köppen (1948), a Região Sudeste apresenta os seguintes tipos climáticos:

- Aw: Tropical Úmido com chuvas no verão ou outono, temperaturas elevadas e inverno seco – Abrange parte do litoral e norte/noroeste do Rio de Janeiro, litoral do Espírito Santo, oeste de São Paulo e parte de Minas Gerais;

- Cwa: Tropical de altitude com chuvas de verão, temperaturas moderadas e verões quentes – Abrange grande parte de São Paulo, centro-sul de Minas Gerais, e Região Serrana do Rio de Janeiro e Espírito Santo;

- Cwb: Tropical de altitude com chuvas de verão, invernos frios e verões brandos – Abrange os pontos mais elevados da Serra da Mantiqueira no sudeste de Minas Gerais e nordeste de São Paulo);

- Cfa: Subtropical com chuvas bem distribuídas durante o ano e verões quentes – Abrange a parte sul de São Paulo;

- Cfb: Subtropical com chuvas bem distribuídas durante o ano e verões brandos – Abrange parte de São Paulo.

4.1.2.4.1 - Caracterização Climática da Área de Influência Indireta

Evidencia-se uma marcante diversidade climatológica na AII da UHE Itaocara, sobretudo quando se considera a grande dimensão de seu território. Não somente as temperaturas médias são fortemente influenciadas pela associação relevo-altitude, mas também, o regime e a distribuição dos totais pluviométricos são notoriamente modificados, segundo a posição do local, se a barlavento ou a sotavento dos ventos úmidos carreados pelas circulações de brisas marítimas na maior parte do ano.

A diversidade climatológica da região decorre da combinação de uma série de fatores locais e atmosféricos. De certo, a interferência da topografia acidentada e compartimentada é marcante. Escarpas de blocos falhados separam superfícies altas e montanhosas que mergulham para o interior, de outras planas a suavemente onduladas. A associação relevo-altitude/maritimidade-continentalidade é responsável pelo aumento da turbulência do ar, podendo induzir a formações convectivas com conseqüentes chuvas orográficas nas cotas mais elevadas das serras do Mar e da Mantiqueira.

Além dos fatores estáticos que influenciam as características do clima na região - latitude, relevo, altitude, maritimidade e continentalidade, deve-se ressaltar o fato de seu território encontrar-se submetido a ventos de NE-E, que sopram da borda oeste do Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul, na maior parte do ano. Tal sistema, ainda é responsável pela manutenção das temperaturas médias em patamares menos elevados, altos níveis de umidade relativa e geralmente associado a céu claro, livre de nebulosidade e ausência de qualquer formação de nuvens.

4.1.2.4.2 - Parâmetros Meteorológicos Atuantes (Item 4.1.1_93 do TR)

4.1.2.4.2.1 - Pressão Atmosférica

Sob o ponto de vista dinâmico, a pressão atmosférica é um importante elemento de caracterização dos sistemas de circulação de larga e meso-escalas.

As variações temporais da pressão atmosférica se dão associadas a ciclos bem definidos e às incursões do ar com distintas características termodinâmicas. Numa base diária, pequenas variações ocorrem por conta da chamada “maré barométrica”, resultando em dois momentos de máximos valores relativos entre dois outros momentos de mínimos relativos.

Sazonalmente, os valores de pressão atmosférica são maiores no inverno que no verão, graças à interação de diversos fatores, tais como a posição relativa do sol no Hemisfério Norte - proporcionando energia solar incidente de menor intensidade e, por conseguinte, menor convecção continental, e às maiores intensidades das massas polares migratórias de origem Antártica. No verão, o aquecimento solar mais intensificado incidindo sobre a superfície, cria movimentos verticais ascendentes, que podem ou não formarem nuvens, contrapondo-se ao peso do ar atmosférico acarretando na redução da pressão atmosférica sobre a superfície. Na prática meteorológica, a pressão atmosférica é reduzida ao nível do mar para eliminar os efeitos de altitude e torná-la comparável espacialmente, bem como para permitir a identificação das configurações dos sistemas atmosféricos.

Em série histórica referente à pressão atmosférica da AII e entorno, este parâmetro climático pouco modificou, considerando o período em questão para ambas as estações utilizadas (**Figura 4.1.2-8**). Os maiores valores de pressão no inverno devem-se às massas de ar migratórias, procedentes das regiões polares, tipicamente incidentes durante esta época do ano, atreladas ao consequente resfriamento das massas atmosféricas atuantes no Hemisfério Sul.

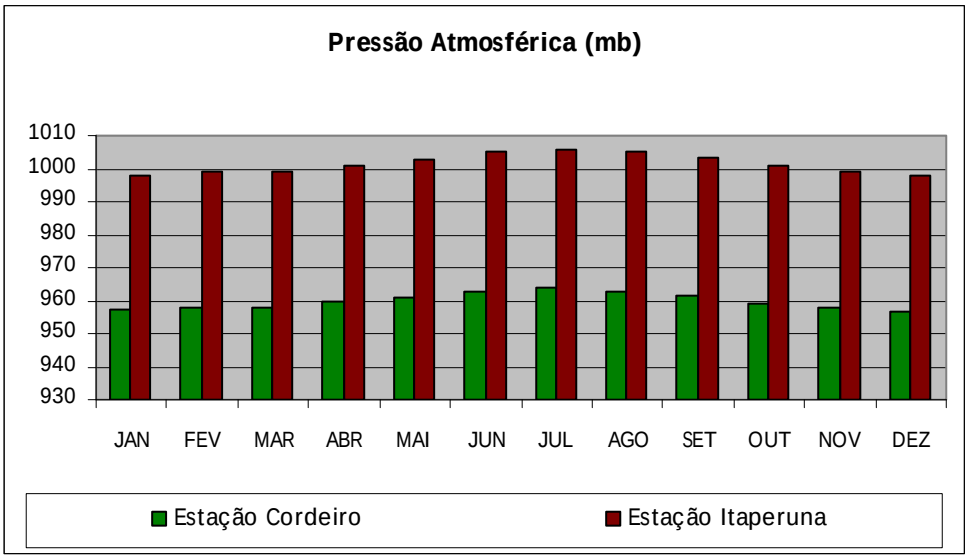


Figura 4.1.2-8 – Pressão Atmosférica

A diferença de valores de pressão, notadamente visível entre as estações de Cordeiro e Itaperuna devem-se exclusivamente à sua localização topográfica, uma vez que este parâmetro meteorológico é inversamente proporcional à elevação topográfica.

4.1.2.4.2.2 - Temperatura do Ar

A temperatura do ar constitui-se em um parâmetro de interesse para os estudos que dizem respeito ao meio ambiente. Basicamente, reflete os resultados dos impactos energéticos da radiação solar sobre o sistema superfície-atmosfera combinados com aspectos astronômicos e dinâmicos de micro, meso e macro-escalas. Particularmente, a avaliação do comportamento das temperaturas médias ao longo do ano permite a identificação da sazonalidade, em função da plotagem das curvas referentes às médias das máximas temperaturas, médias compensadas e médias das mínimas temperaturas a partir das informações de cada mês. As curvas resultantes dos valores das médias das máximas e mínimas temperaturas apresentam estreita correlação com as curvas das médias compensadas e as de valores relativos máximos e mínimos.

De modo geral, as temperaturas do ar na AII e entorno do empreendimento podem ser caracterizadas, de acordo com os dados do INMET para o período de 1961-1990 (2009a), com valores da temperatura média compensada variando entre 20 e 22ºC anuais, tendo a temperatura máxima variação entre 25 e 28ºC, e a mínima uma variação de 15 a 18ºC.

Nos dados registrados pelas estações de Cordeiro e Itaperuna, a temperatura máxima absoluta oscilou entre 28,5º e 33ºC durante os meses de verão – dezembro a fevereiro -, 25,5º a 32,2ºC nos meses que compreendem outono e primavera, e 24,3º a 28,3ºC durante o inverno – junho a agosto (**Figura 4.1.2-9**).

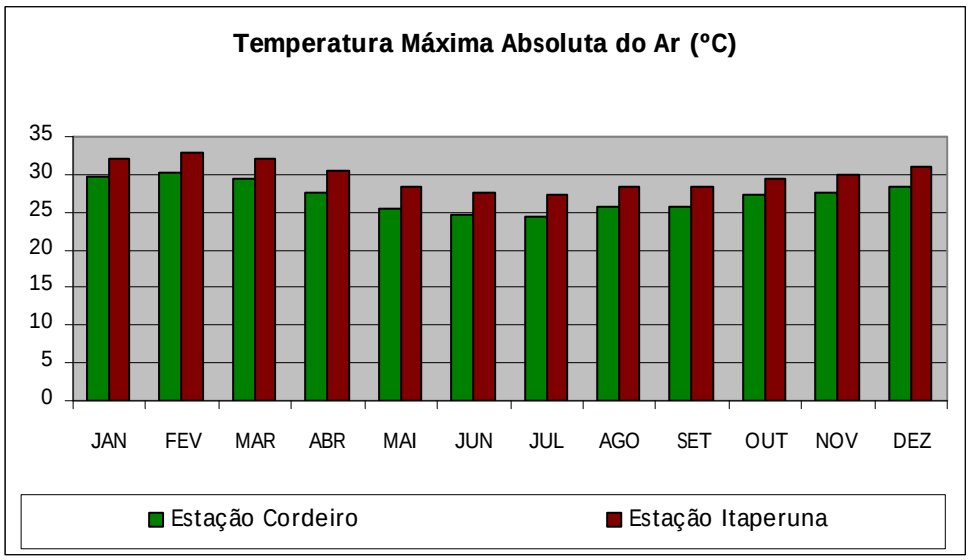


Figura 4.1.2-9 – Temperatura Máxima Absoluta

Em relação às temperaturas mínimas absolutas, seus valores oscilaram entre 19º e 22,1ºC no verão, 11 e 17ºC durante outono e primavera, e 12,3 a 16,1ºC no inverno, tendo sido registrada a menor temperatura mínima – 12,3ºC - durante o mês de julho pela Estação de Cordeiro (**Figura 4.1.2-10**).

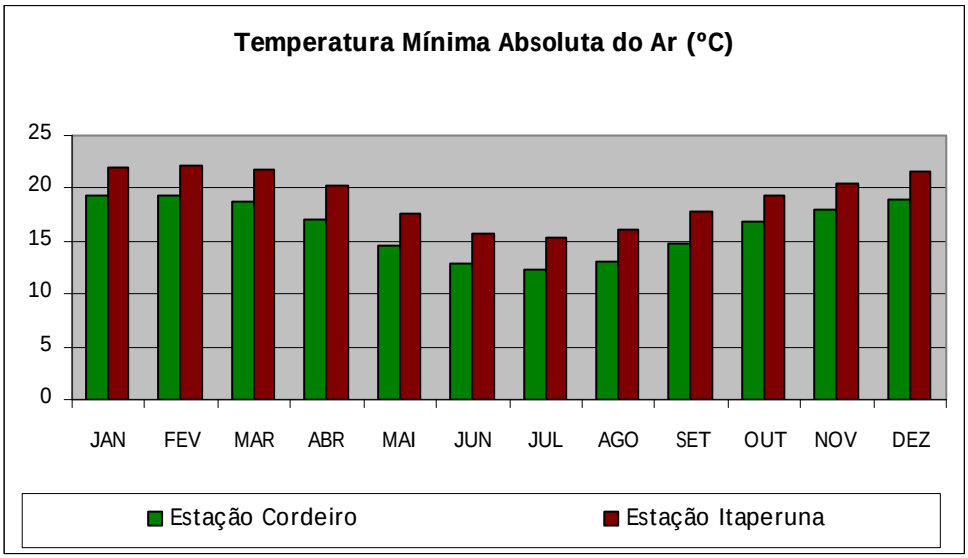


Figura 4.1.2-10 – Temperatura Mínima Absoluta

As temperaturas médias compensadas da região apresentaram valores sempre superiores a 22,9ºC para o verão, intervalos de 18,9 a 26,1ºC para o outono e 19,6 a 24,6ºC na primavera e valores que oscilaram entre 17º e 21,4ºC para o inverno (**Figura 4.1.2-11**).

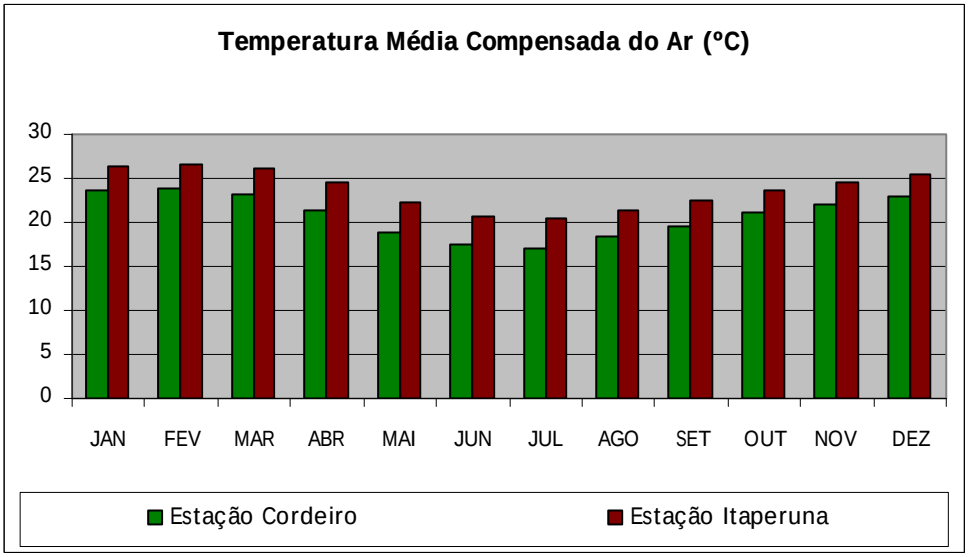


Figura 4.1.2-11 – Temperaturas Médias Compensadas

Esses valores médios, evidentemente, são apenas climatologicamente referenciais, pois, numa situação cotidiana, os mecanismos de circulação atmosférica interferem sobremodo nos valores registrados, elevando as temperaturas quando em situações de domínios de ar tropical e circulação de ar do setor N ou diminuindo acentuadamente as mesmas quando sob domínio de

massa polar migratória e ventos do setor S. No caso de locais mais elevados topograficamente, em situação de não-saturação do ar, deve-se considerar a redução da temperatura com a altitude, segundo a razão de 0,65ºC para cada 100m.

4.1.2.4.2.3 - Umidade Relativa do Ar

Os valores de umidade relativa do ar são inversamente proporcionais à evapotranspiração e dependem, regionalmente, dos processos de aquecimento ou resfriamento do ar, transporte horizontal de vapor d'água e precipitações. Em situações de intensas frentes-frias acompanhadas de chuvas ou de frentes-frias estacionárias com chuvas, os valores de umidade relativa do ar podem sofrer acentuadas elevações até a saturação.

Para o caso da área localizada no entorno direto da AII da UHE Itaocara, as variações inter-mensais podem atingir até 3%. As diferenças sazonais são marcantes porém pouco acentuadas, apresentando amplitude entre 6 e 7%, com máximas registradas de 84% em maio-junho e 78% em dezembro/maio-junho, e mínimas de 77% em agosto-setembro e 72% em agosto, respectivamente para as estações de Cordeiro e Itaperuna.

Nas Normais Climatológicas para o período de 1961-1990, a média da umidade relativa do ar apresenta-se no intervalo entre 75 e 80% (INMET, 2009a).

Para as estações de Cordeiro e Itaperuna, a umidade relativa do ar apresentou intervalo de 74 a 82% para o verão (dezembro a fevereiro), 75 a 84% para outono (março a maio), 72 a 84% durante o inverno (junho a agosto) e intervalo de 73 a 80% para a primavera (**Figura 4.1.2-12**).

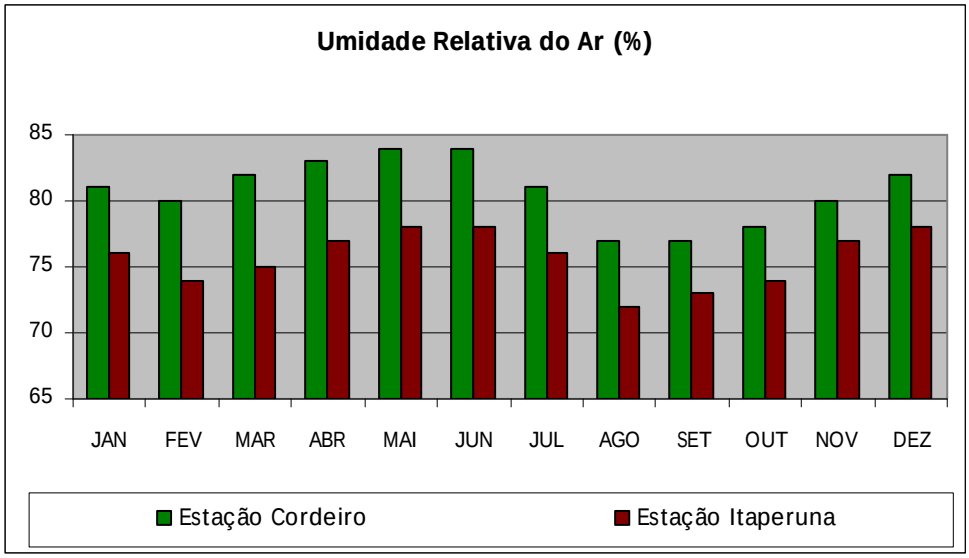


Figura 4.1.2-12 – Umidade Relativa do Ar

A distribuição da umidade relativa do ar de forma similar durante todo o ano registrada por ambas as estações Estaca, guardadas as devidas características locacionais, se dá graças ao seu caráter de continentalidade, cuja massa de terra aquece mais facilmente, devido ao seu alto calor específico, atrelada à cobertura vegetal, gerando movimentos de ascensão de massas de umidade. Essas massas de umidade, ao ascenderem à atmosfera, formam as nuvens responsáveis pelas precipitações, cujas chuvas são denominadas de convectivas, já que são formadas por movimentos de convecção ascendentes.

4.1.2.4.2.1 - Evapotranspiração Total

O parâmetro "evapotranspiração total" dá indicações da transferência de água do solo, subsolo e vegetação para a atmosfera. Este parâmetro tem seus valores inversamente proporcionais aos valores apresentados pela umidade relativa do ar, uma vez que esta refere-se à quantidade de vapor d'água disponível na atmosfera.

De acordo com dados das Normais Climatológicas para o período 1961-1990, o índice de evapotranspiração total anual para a região de entorno da AII da UHE Itaocara está no intervalo de 700 a 900 mm (INMET, 2009a).

Conforme pode ser verificado na **Figura 4.1.2-13**, os valores de evapotranspiração registrados pelas estações Itaperuna e Cordeiro foram sempre superiores a 37 mm durante os anos observados, definindo nitidamente uma marcante sazonalidade. A máxima evapotranspiração assinalada para os meses de verão está associada ao maior aquecimento das massas de terra e da cobertura vegetal. Já os meses de inverno, ao contrário, apresentam os menores valores de evapotranspiração, em virtude do menor aquecimento solar.

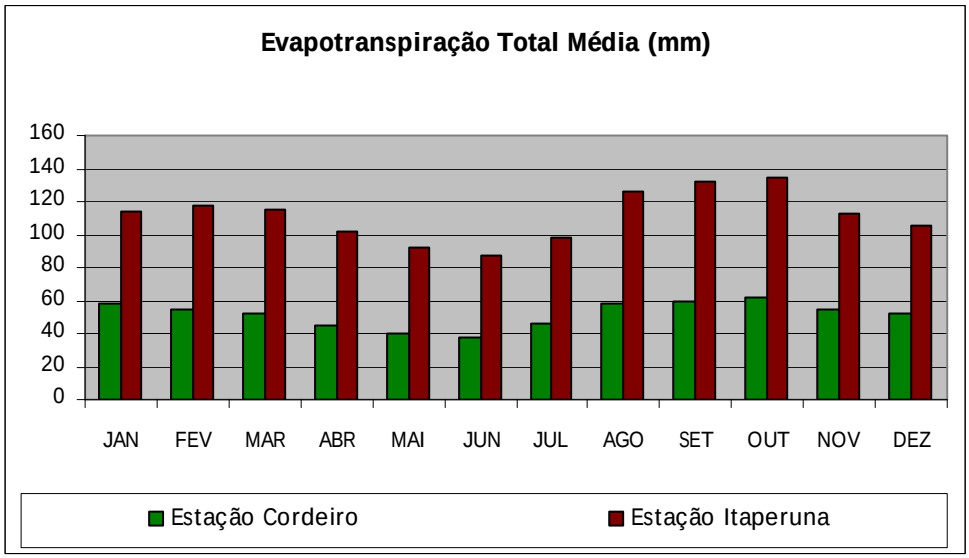


Figura 4.1.2-13 - Evapotranspiração Total Média

As maiores médias mensais apresentadas pela Estação Itaperuna devem-se à maior área de superfície exposta à radiação solar, já que está localizada em área de relevo mais plano. Em contrapartida, o relevo mais movimentado, apresentado pela área onde está localizada a Estação Cordeiro, faz com que a superfície de incidência direta dos raios solares seja menor, sendo também estes raios incididos por um período de tempo mais curto.

A evaporação medida apresenta valores mais elevados de novembro a março e menos elevados entre maio e julho, sendo de 620,4mm e 1136,8mm a evaporação média anual para as estações de Cordeiro e Itaperuna, respectivamente.

4.1.2.4.2.2 - Chuvas: Precipitação e Pluviometria

As precipitações pluviométricas que atingem a região da AII estão associadas a diversos mecanismos atmosféricos, tais como: frentes-frias (durante todo o ano, sendo que mais acentuadas durante o inverno), linhas de instabilidade (no período primavera-verão) e formações convectivas regionais (nos períodos de primavera, verão e início de outono) originadas por sistemas de circulação da atmosfera provenientes do subquadrante N-NW. As entradas de frentes-frias, normalmente, são de caráter mais intenso para chuvas e, principalmente, ventos, após o sistema frontal adentrar diretamente na Baía de Guanabara, ou pela área da Baía de Sepetiba, rompendo o relevo escarpado das serras do Mar e da Mantiqueira.

Nas Normais Climatológicas do período 1961-1990, a precipitação total acumulada, apresenta um valor cujo intervalo varia entre 1.200 e 1.500 mm para a região e entorno (INMET, 2009a).

De acordo com a **Figura 4.1.2-14**, as precipitações registradas pela Estação Itaperuna apresentam uma oscilação mais suave em relação à distribuição de chuvas no período analisado. Entre os meses de dezembro e fevereiro (período sazonal de verão), o volume de chuvas registrado esteve sempre acima dos 105mm/mês, alcançando um máximo de 219mm em dezembro. Já os meses de junho a agosto (período sazonal de inverno), este volume oscilou entre 20 e 25mm/mês.

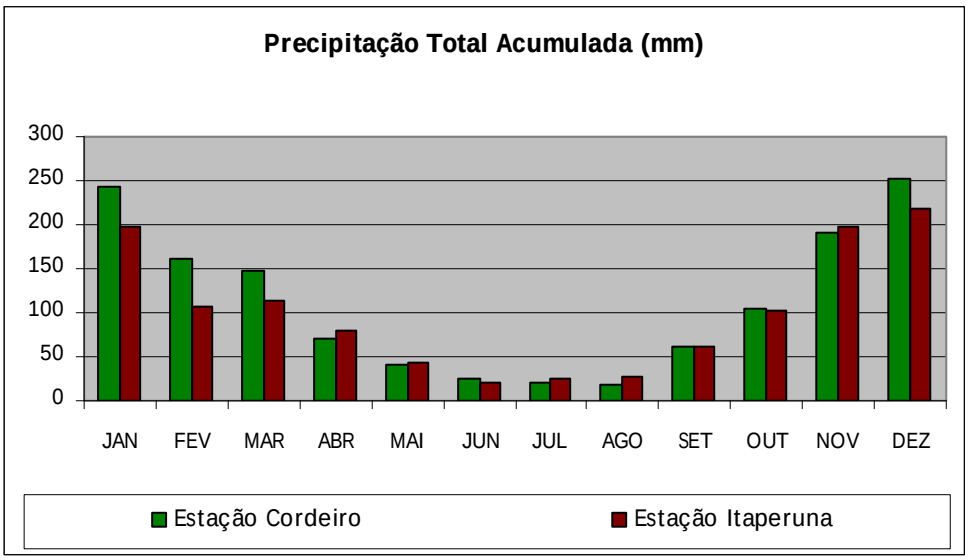


Figura 4.1.2-14 - Precipitação Total Acumulada

Já a Estação Cordeiro apresentou, para o período sazonal de verão, um volume de chuvas acima dos 160mm/mês, com máximo de precipitação de 252,1mm em dezembro. Para o período sazonal de inverno, este volume oscilou entre 19 e 25mm/mês.

Os volumes pluviométricos precipitados apresentam característica normal para a região, visto que o clima tropical de altitude (Cwa) que atua nesta faixa de relevo tem inverno seco.

Sazonalmente, tomando alguns meses representativos para cada estação do ano, a variação climatológica anual de precipitação pode ser caracterizada, assim, pelos valores médios para as estações de Itaperuna e Cordeiro, respectivamente, a saber: janeiro (verão): 198,3mm e 242,9mm; abril (outono): 80,5mm e 70mm; julho (inverno): 24,8mm e 21,3mm; outubro (primavera): 102,3mm e 105,4mm; total anual: 1194,5mm e 1338,1mm. O trimestre mais

chuvoso, segundo os valores climatológicos, compreende os meses de novembro, dezembro e janeiro, enquanto o trimestre menos chuvoso incorpora os meses de junho, julho e agosto.

Esta diferença de pluviosidade em relação aos períodos sazonais das estações observadas são explicadas pela sua localização geográfica-geomorfológica atrelada às suas condições de altitude, uma vez que a Estação de Itaperuna encontra-se em áreas de topografia mais plana e em conta de 123,59m, enquanto que a Estação de Cordeiro está alocada em área de relevo mais movimentado, com altitude de 505,92m.

Desta forma, conclui-se que a distribuição da pluviosidade mostra-se sazonalmente bem delineada, com períodos mais chuvosos nos meses de verão e mais secos nos meses de inverno, comportamento característico dos regimes tropicais.

4.1.2.4.2.3 - Insolação

O número de horas de brilho solar (insolação) em cada mês do ano é função não somente da nebulosidade existente, mas também do período dito diurno dos dias (mais longos no verão e mais curtos no inverno).

A insolação é concebida como o número de horas e décimos de horas de brilho solar incidente sobre um anteparo disposto horizontalmente à superfície. Depende, porém, além dos fatores astronômicos, da nebulosidade e do livre horizonte na trajetória solar do poente ao ocaso.

De acordo com a **Figura 4.1.2-15**, a insolação incidida, observada nos períodos estudados, apresentou pouca oscilação, sem, no entanto, demonstrar grandes disparidades quanto aos demais parâmetros apresentados para uma caracterização climática.

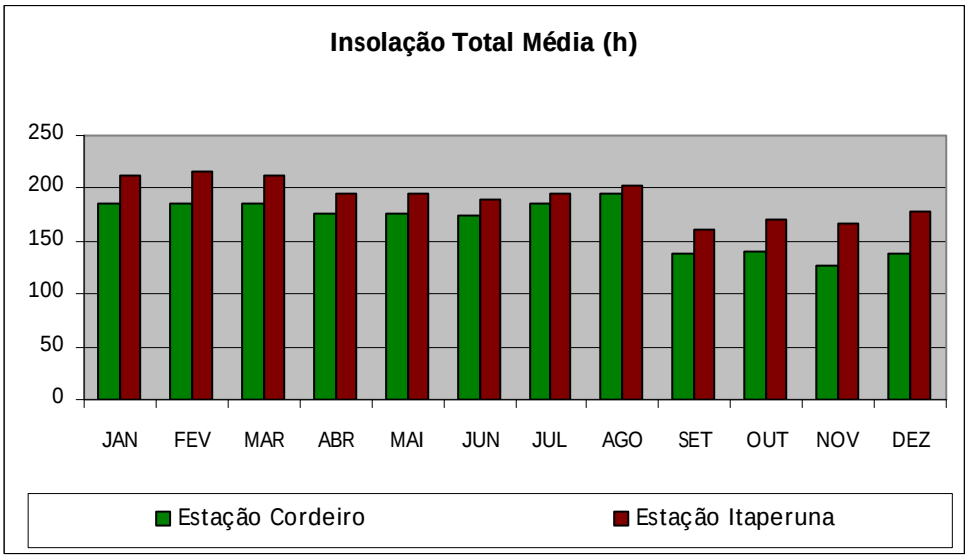


Figura 4.1.2-15 – Insolação Total Anual

A queda na insolação registrada em ambas as estações para os meses de setembro a dezembro deve-se pela elevação da cobertura de nuves (nebulosidade) observada para o mesmo período.

4.1.2.4.2.4 - Nebulosidade

O interesse de se conhecer o regime de nebulosidade numa região diz respeito basicamente às possíveis interferências que estas podem causar ao recebimento/retenção de energia radiativa, bem como às características das precipitações locais e às condições de evapotranspiração.

Segundo as Normais Climatológicas de 1961-1990 a nebulosidade média para a AII da UHE Itaocara oscilou entre 6 e 7 décimos no período observado (INMET, 2009a).

Para as estações Cordeiro e Itaperuna, a variação de nebulosidade média ao longo do ano pode ser constatada por meio da existência de uma sutil variação sazonal, consoante às variações de insolação. Verifica-se que o período de menor nebulosidade compreende o trimestre junho-agosto, que apresenta também maior estabilidade (valores de 6 e 4 décimos, respectivamente) e menor precipitação total acumulada (**Figura 4.1.2-16**).

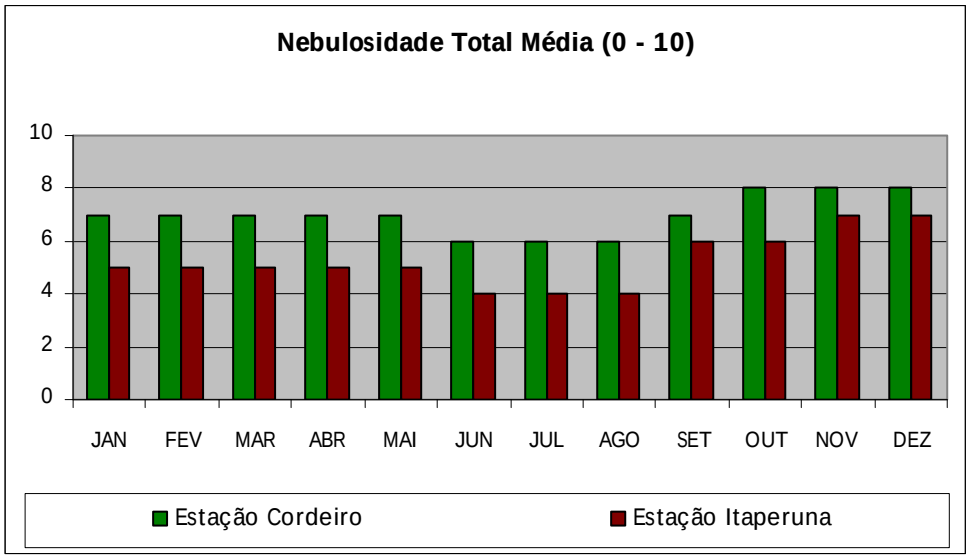


Figura 4.1.2-16 – Nebulosidade Total Anual

De outubro a dezembro, porém, os valores de nebulosidade são máximos, chegando a 8 décimos para a Estação Cordeiro e 6-7 para a Estação Itaperuna, o que reflete a maior evapotranspiração continental e também o forçamento dos sistemas transientes na formação e manutenção de nuvens na região.

4.1.2.4.2.5 - Vento: Direção e Velocidade

Para melhor caracterizar a área de estudo, é necessário observar os mecanismos de circulação dos ventos para as diversas estações do ano e níveis de pressão sobre todo o globo terrestre.

A direção e a velocidade dos ventos estão associadas às diversas escalas de circulação atmosférica e apresentam significativas interatividades espaciais, bem como nítidas variabilidades temporais.

De modo geral, predominam os regimes locais na área litorânea e das baías de Guanabara e Sepetiba até certa faixa do continente, compreendida entre a faixa litorânea e o início das escarpas de falha da Serra do Mar, visto que as massas de água e de solo apresentam diferentes capacidades caloríficas quanto à retenção/dispersão de calor, influenciando diretamente na temperatura e umidade do ar reinante no local. Entre as superfícies intramontanas das serras do Mar e da Mantiqueira ocorre o predomínio de ventos procedentes do ASAS durante a maior parte do ano.

Estes parâmetros são de extrema relevância, por exemplo, nas avaliações da poluição do ar nas diversas escalas (local, regional ou global), pois deles resultam, respectivamente, o sentido do deslocamento da pluma de poluição e a forma de dispersão da mesma.

O estudo de ventos na AII da UHE Itaocara, na região de influência direta do reservatório a ser criado pelo empreendimento, requer a análise da direção de procedência de ventos locais, tomados por estações meteorológicas existentes na área, buscando o entendimento da dinâmica atuante.

Para isso, a direção de procedência do vento advem do quadrante e subquadrante, de acordo com os pontos cardeais, colaterais e subcolaterais da Rosa-dos-Ventos, sempre no sentido horário (**Figura 4.1.2-17**).

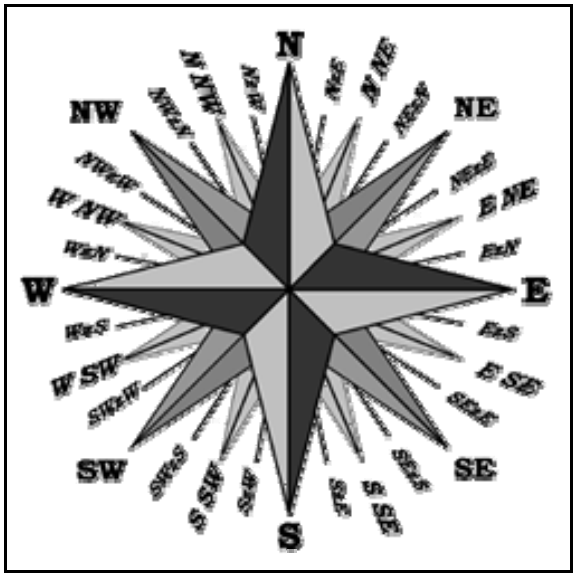


Figura 4.1.2-17 – Rosa-dos-Ventos

Essas direções de procedência de ventos, evidentemente, não ocorrem simultaneamente, à exceção de situações de forte aquecimento solar no verão, gerando brisas marítimas/continentais ou quando há um regime de circulação regional associado a uma aproximação frontal fria, gerando ventos predominantes procedentes do setor S-SE, especialmente no período que compreende o período sazonal de outono-inverno (abril-agosto).

As calmarias ocorrem quando não há diferenças de pressão entre as zonas de massas de ar, já que o vento, nada mais é que o deslocamento de pequenas porções de massa de ar que se movem, necessariamente, no sentido das zonas de Alta Pressão (AP) para as zonas de Baixa Pressão (BP).

Para demonstrar graficamente a direção e a frequência de incidência de ventos na AII do empreendimento, os resultados foram agrupados de modo a representar o valor total de incidência geral de ventos, de acordo com a sua direção de procedência. Para chegar ao número de incidência referente à frequência média mensal de ventos, os valores foram alcançados a partir da seguinte equação:

$$\frac{V_d \times 10}{n}$$

Onde:

V_d - soma da coleta diária de (4) valores

n – dias do mês

Os dados coletados geraram os resultados apresentados no **Quadro 4.1.2-4**, abaixo.

Quadro 4.1.2-4 - Incidência e Velocidade Média de Ventos – Estação Santa Maria Madalena

Mês	Direção Predominante Primária (DPP)	Direção Predominante Secundária (DPS)	Calmarias (nº de dias de ocorrência)	Velocidade Média de Incidência (m/s)	Intensidade Média dos Ventos - Rajada (m/s)	Frequência Mensal (nº de incidência)	
						DPP	DPS
Janeiro	W	S	5	5,42	5,18	120	90
Fevereiro	W	S	3	5,23	5,11	80	70
Março	SE	N	4	5,50	4,95	90	70
Abril	S	SE	3	4,54	4,50	90	60
Maio	SE	S	4	4,97	5,02	80	60
Junho	W	S	1	4,65	4,60	80	60
Julho	NW	W	5	5,44	5,33	90	80
Agosto	SE	W	4	4,69	4,77	70	60
Setembro	S	SE	8	5,31	5,26	70	60
Outubro	SW	SE	8	5,87	5,84	80	70
Novembro	SE	NW	9	5,69	5,62	80	60
Dezembro	SE	W	11	5,56	5,52	90	60
Anual	**SE**	**S**	**65**	**5,23**	**5,05**	**1020**	**800**

FONTE: Compilação de dados: CPTEC/INPE, 2009.

Os valores demonstrados no **Quadro 4.1.2-4** foram reagrupados e novamente analisados, resultando nos anemogramas referentes ao resultado anual da estação analisada, conforme apresentado no **Quadro 4.1.2-5** e no anemograma da **Figura 4.1.2-18**.

Quadro 4.1.2-5 - Direções Predominantes e Frequência Média Anual

Quadrante (sentido horário)	Direção Predominante Primária (DPP)	Direção Predominante Secundária (DPS)	Freqüência Média Anual (nº de incidência)	
			DPP	DPS
2º	SE	S	410	280

FONTE: Compilação de dados: CPTEC/INPE, 2009.

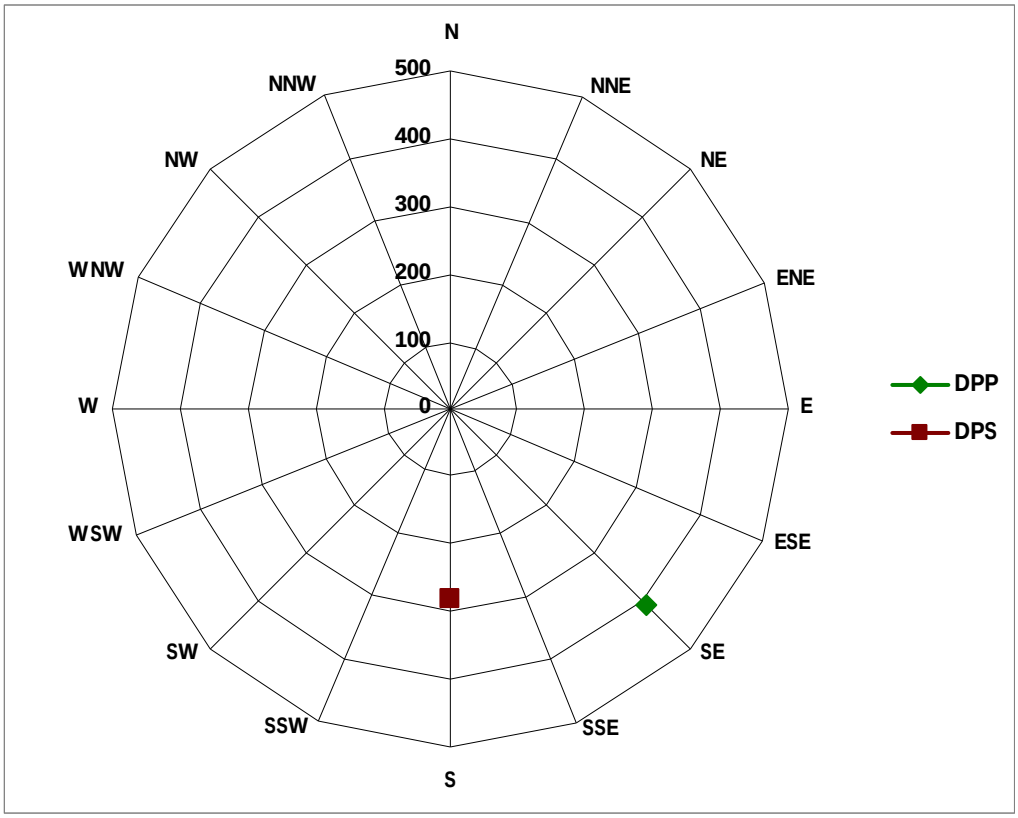


Figura 4.1.2-18 - Anemograma – Direção e Frequência Acumulada de ventos para a AII e entorno

As duas primeiras predominâncias das direções dos ventos (DPP e DPS) para a Estação Santa Maria Madalena, respectivamente SE e S, demonstram a incidência de ventos úmidos, provenientes de áreas sobre o oceano Atlântico ou mesmo resultantes do deslocamento local ocasionado pela diferença de pressão entre as massas de ar de Alta para Baixa Pressão atmosférica.

4.1.2.5 - Análise Integrada dos Parâmetros Meteorológicos e Fenômenos Climáticos (Item 4.1.1_93 do TR)

Os parâmetros meteorológicos selecionados corroboram para o entendimento das obras de engenharia a serem edificadas na área de interesse para a UHE Itaocara.

Os parâmetros de temperatura do ar e umidade relativa do ar, quando analisados conjuntamente, fornecem dados compatíveis ao entendimento de parte da dinâmica pluviométrica e de ventos local. As características de pluviosidade e dinâmica de ventos de uma região também estão atreladas aos mecanismos de massa de ar, de frentes e de circulação geral da atmosfera.

Segundo os parâmetros das Normais Climatológicas utilizados, na região da AII da UHE Itaocara e entorno, a quantidade de chuvas precipitadas é bastante elevada, não sendo bem distribuída durante o ano. Porém, apresentando, de acordo com o tipo de clima atuante, períodos de estiagem e de grandes índices de chuvas concentradas.

De certa forma, esta discrepância entre estes períodos anuais, com estiagens durante os meses de maio a agosto (com máximo volume de precipitação abaixo de 50mm/mês), e chuvas concentradas principalmente durante os meses de novembro a janeiro (com volume precipitado sempre superior a 180mm/mês), demonstra a sazonalidade característica desta tipologia climática.

Estas características de precipitação são fortemente influenciadas pelos parâmetros de temperatura e umidade relativa do ar, e à dinâmica de circulação geral da atmosfera, uma vez que estas estão diretamente relacionadas à quantidade de chuva precipitada em cada época/estação do ano.

Na área de estudo, as chuvas têm castigado a região devido à atuação conjugada de El Niño com a expansão e permanência mais longa de frentes-frias. A atuação de El Niño, durante os meses de novembro a fevereiro, acarretam em um aumento da temperatura do ar reinante sobre a área de estudo, influenciado no aumento da evapotranspiração e nebulosidade, o que, obrigatoriamente, acarreta em aumento demasiado de formação de nuvens responsáveis pelas chuvas convectivas na região.

A atuação de El Niño na região Sudeste atualmente vem sucedendo La Niña, cuja ação já vinha ocorrendo desde 2006. Esta transição acarreta num índice pluviométrico alto, historicamente registrado nas Normais Climatológicas utilizadas para este diagnótico, bem como também nos dados apresentados pelas estações de Cordeiro e Itaperuna. Com a atuação de El Niño, conjuntamente à expansão e permanência de frentes frias na região durante o período sazonal de primavera-verão, as condições atmosféricas para a formação de chuvas aumentam ainda mais, fazendo com que o volume precipitado seja bastante elevado, chegando por vezes a alcançar níveis de atingir a calamidade pública.

A atuação conjugada dos fenômenos climáticos de El Niño e La Niña também provoca alterações no nível ceráunico da região, uma vez que provocam mudanças globais na circulação dos ventos e nas temperaturas do ar reinante, afetando diretamente a frequência de tempestades e a atividade de descargas atmosféricas locais.

O que se observa nos últimos tempos, é numa oscilação de atuação mais frequente e intercalada dos fenômenos climáticos de El Niño e La Niña que, quando conjugadas à atuação de outros fenômenos meteorológicos e de circulação atmosférica, atingem de modo violento a região da AII da UHE Itaocara.

4.1.2.6 - Análise de Alterações sobre o Microclima Local (Item 4.1.1_97 do TR)

O clima de uma dada região é caracterizado a partir da interpolação de alguns parâmetros meteorológicos conjugados à cobertura vegetal, localização geográfica no globo terrestre (latitude) e altitude topográfica, além da dinâmica de circulação geral da atmosfera.

Para a inserção de uma região em uma determinada tipologia climática, é necessária a análise e classificação dos parâmetros meteorológicos atuantes, tomados em um período de observação mínimo de 30 anos.

De acordo com a classificação climática de Köppen (1948), a região onde será implantada a UHE Itaocara apresenta um clima tropical de altitude (Cwa), caraterizado por duas estações distintas com chuvas concentradas no verão e seca de inverno e temperaturas anuais moderadas (superiores a 17ºC).

Os estudos para a caracterização do Clima e Condições Meteorológicas da AII da UHE Itaocara foram realizados com base em dados de séries históricas das estações Cordeiro e Itaperuna, tomados em períodos de observação de 36 e 38 anos, respectivamente. Foram utilizadas tais estações devido à inexistência de estações metereológicas mais próximas ao local de instalação do empreendimento.

Em relação ao empreendimento de engenharia da UHE Itaocara, este está segmentado em 2 reservatórios distintos, apresentando o arranjo Itaocara I projetado para a cota de 89,6m, 41,48 km² de lago artificial, e o arranjo Itaocara II na cota 102m, 7,91km².

O arranjo Itaocara II não apresentará modificações consideráveis, uma vez que terá seu lago artificial formado em local de relevo encaixado, com áreas de pequeno espraiamento do reservatório. Já Itaocara I apresentará modificações em relação à morfologia natural do relevo existente, bem como também às características de espraiamento do lago, cobertura vegetal e uso do solo nas áreas remanescentes à formação do reservatório artificial.

De acordo com as análises das estações utilizadas, pode-se inferir que ocorrerão modificações no microclima local. Contudo, cabe ressaltar que tal modificação ocorrerá apenas em Itaocara I, devido às características locacionais e ambientais já explicitadas. Os parâmetros meteorológicos que poderão apresentar modificações com a criação e funcionamento da UHE Itaocara são os seguintes: evapotranspiração, nebulosidade, precipitação e pluviometria, temperatura e umidade relativa do ar.

Tal afirmação está pautada em diversos trabalhos já realizados para a identificação de mudanças no microclima local em áreas onde foram criados reservatórios artificiais de usinas hidrelétricas. Dentre os principais estudos podem ser destacados os relacionados à: Hidrelétrica de Itaipu (Grimm, 1988; Dias et al., 1999; Ribeiro, 2003; Limberger, 2007); Hidrelétrica de Sobradinho (Campos, 1990); Hidrelétrica de Curuá-UNA (Gunkel et al., 2003, Fearnside, 2004); Hidrelétrica de Tucuruí (Fisch, Januário & Senna, 1990; Guidon, 1991; Fisch, Marengo & Nobre, 1998; Comissão Mundial de Barragens, 1999; Sanches & Fisch, 2005; Vasconcelos, Novo & Donalísio, 2006); Hidrelétrica de Ilha Solteira (Pereira, 2006; Marques, Maciel & Dall'Aglio Sobrinho, 2007) e Hidrelétrica de Porto Primavera (Scarpinella, 1999; Travassos, 2001; Carmo, 2001; Campanharo, 2003; Paula & Gomes, 2007).

No caso da UHE Itaocara, a criação do lago artificial de Itaocara I alagará áreas atualmente utilizadas principalmente como pastagem, pasto sujo e vegetação secundária que será suprimida, além do próprio curso do rio Paraíba do Sul neste trecho, conforme apresentado no **Mapa 2341-00-EIA-DE-3010-00 - Mapa de Uso e Cobertura Vegetal** do Caderno de Mapas.

Com a criação do reservatório artificial formado por Itaocara I serão formadas novas ilhas, compondo uma área total de 7,12 km², que configurarão áreas com posterior reconformação natural da cobertura vegetal. Da mesma forma, após o enchimento do reservatório formado, será realizado o replantio da vegetação ciliar e mata associada, a fim de compor a Área de Proteção Permanente – APP do lago artificial.

Os efeitos advindos destas modificações – criação do reservatório, formação de novas ilhas, reconformação da APP e revegetação das ilhas formadas – conjugadas ao próprio alagamento desta vasta área para formação da lâmina d'água do lago, acarretarão em modificações nos índices de evapotranspiração, nebulosidade, precipitação e pluviometria, temperatura e umidade relativa do ar, conforme já exposto anteriormente.

Tais modificações apenas serão perceptíveis com o monitoramento meteorológico desses parâmetros, a partir de estação meteorológica a ser implantada no local. Da mesma forma, estas modificações só poderão ser mensuradas a partir da coleta e análise de série histórica de, no mínimo, 5 anos, e posterior contraposição dos resultados obtidos com os dados utilizados para a análise e caracterização do Clima e Condições Meteorológicas da AII apresentados para este Diagnóstico. O período de 5 anos é considerado como intervalo necessário não só para o crescimento vegetal como também de observação de parâmetros meteorológicas capazes de inferir modificações em caracterísiticas climáticas.

A partir do enchimento do reservatório, os índices de evapotranspiração irão aumentar, devido ao maior espelho d'água a sofrer evaporação. Atrelado à evapotranspiração realizada pelos vegetais, o aumento destes índices contribuirá para a elevação do índice de nebulosidade na região.

Com o aumento da evapotranspiração e consequente elevação dos índices de nebulosidade, ocorrerá também uma possível elevação nos índices de precipitação e pluviosidade, graças à maior quantidade de vapor d'água disponível na atmosfera (evaporação) e formação de nuvens de chuva (nebulosidade).

Consequentemente, a umidade relativa do ar reinante sobre a região também apresentará elevação de seus índices históricos registrados pelas estações meteorológicas utilizadas neste estudo. Aumentando a umidade do ar, a temperatura reinante aumentará em proporção direta, uma vez que estes parâmetros meteorológicos estão intrinsecamente interligados.

O aumento da nebulosidade, precipitação e pluviosidade, temperatura e umidade relativa do ar acarretará também em uma elevação do nível ceráunico observado na região, já que influenciará diretamente na formação de nuvens de tempestade, podendo, inclusive, formar com maior frequência chuvas de granizo, devido à ascenção vertical acelerada de ventos em movimentos turbilionares convectivos, ocasionados pelo auto aquecimento das massas de água do reservatório e das massas de solo, que aquecerão mais rapidamente as massas de ar existentes imediatamente sobre o solo e água, ascendendo e formando nuvens de advecção, dando continuidade ao ciclo.

Estas modificações ocorrerão em conjunto, da mesma forma que a elevação dos índices registrados para um parâmetro observado, estará, necessariamente, atrelada à consequente elevação dos demais, uma vez que estes ocorrem de forma simultânea e interconectada.

Contudo, as modificações que possam vir a ocorrer no microclima local, deverão estar conjugadas às características dinâmicas da atmosfera, através da análise conjunta dos fenômenos climáticos e meteorológicos atuantes, a circulação geral da atmosfera e os demais sistemas e fenômenos de circulação planetária.

No entanto, o tema relacionado aos impactos causados por reservatórios artificiais sobre o microclima é inerentemente difícil de ser analisado, uma vez que, conforme apresentado, comumente não existem estações meteorológicas com dados suficientes de período anterior à instalação do empreendimento hidrelétrico. Da mesma forma, a necessidade de instalação de estações e monitoramento dos parâmetros meteorológicos, conjuntamente a todos os demais agentes climáticos descritos, impede que seja dimensionado de modo correto e com valores exatos, o grau e intensidade de modificações que irão ocorrer no local. Soma-se a isso também, uma relativa escassez de metodologias objetivas para analisar o assunto.

Cabe ressaltar que, mesmo que os reservatórios de empreendimentos hidrelétricos constituam-se em reservatórios artificiais, onde águas serão represadas, deve-se considerar que cada hidrelétrica constitui um caso particular, não sendo possível atribuir valores típicos, nem tampouco comparativos entre empreendimentos, dadas as características locacionais, ambientais e de uso do solo de cada hidrelétrica.

Desta forma, recomenda-se que seja instalada uma estação meteorológica em área próxima à Itaocara I para que a observação dos parâmetros meteorológicos apontados, passíveis de apresentarem modificações, sejam monitorados.

4.1.2.7 - Considerações sobre a Emissão dos Gases do Efeito Estufa (GEE) em Reservatórios (Item 4.1.1_98 do TR)

Aproximadamente 99% da atmosfera terrestre é composta por N_2 e O_2, e o restante por uma mistura de gases-traço. Dentre esses, o H_2O (vapor d'água), o CO_2 (gás carbônico), o CH_4 (metano), o N_2O (óxido nitroso), os CFCs (clorofluorcarbonetos) e o O_3 (ozônio) são os mais conhecidos gases de efeito estufa (GEEs) e cumprem um importante papel na regulação do clima.

O processo se define quando raios solares que atravessam a atmosfera e chegam até a superfície terrestre retornam a troposfera na forma de luz infravermelha. Parte dessa energia é absorvida pelos GEEs resultando no aquecimento da camada atmosférica. Trata-se de um funcionamento natural do sistema chamado efeito estufa, que além de outras, tem como função a manutenção da temperatura planetária. Porém, no último século, as atividades humanas têm alterado esse processo. Em todo mundo a queima de combustíveis fósseis, as queimadas em florestas e as mudanças no uso do solo têm sido as principais causas do aumento das concentrações de GEEs, principalmente o CO_2 e o CH_4, que ocasionam aumento na temperatura global e outras mudanças climáticas consideráveis.

Segundo Nobre et al. (2007), a contribuição do Brasil para a emissão dos GEEs e consequentemente para o aquecimento global tem sua maior fonte no desmatamento das florestas (cerca de 55%), seguida das mudanças nos padrões de uso e ocupação do solo (15%). Além dessas, as áreas alagadas tropicais, tanto naturais quanto artificiais, também contribuem com GEEs para atmosfera. No entanto, essas contribuições têm sido relativamente omitidas das discussões políticas por serem ainda pouco estudadas do ponto de vista ecossistêmico (Kemenes et al., 2008). Para se poder avaliar a real influência dos biomas brasileiros nesse sentido, é essencial aperfeiçoar as estimativas dos fluxos e o balanço do carbono, identificando as principais fontes de emissão e sumidouro, a variabilidade espacial e temporal dos processos, desenvolvendo também modelos matemáticos.

Com relação aos ambientes aquáticos naturais, os processos biogeoquímicos influenciam consideravelmente na emissão de gases como, por exemplo, a metanogênese que se caracteriza por um processo exclusivamente anaeróbico realizado por um grupo de bactérias quimiotróficas.

Sobre a contribuição de reservatórios em UHE mais especificamente, o barramento de um rio implica uma série de transformações no ecossistema aquático em um tempo relativamente curto, como o aumento da profundidade, diminuição da correnteza e aumento da temperatura podendo haver estratificação termal da coluna de água. De certa forma, alterações dessa natureza contribuem para um aumento na emissão de gases do efeito estufa. Por outro lado, algumas ações como a supressão da vegetação antes da inundação do reservatório amenizam a magnitude do processo.

Segundo Kemenes (2006), em termos de modelagem estatística, os parâmetros que influenciam consideravelmente nas emissões de gases do efeito estufa são a estratificação térmica, fator diretamente correlacionado com o tempo de residência da água no reservatório e as feições morfológicas do reservatório. Quanto ao primeiro parâmetro, estima-se que quanto maior o tempo de residência, maior será a estratificação térmica. As feições morfológicas do reservatório, por sua vez, também influenciam na estimativa de emissão de gases em função das características da coluna d'água formada.

De acordo com a modelagem e simulação numérica, Itaocara I possui as seguintes feições morfológicas: é estreito, raso e alongado na parte majoritária de seu estirão. Cerca de 70% de curso longitudinal terá menos de 15 metros de profundidade e apenas o restante poderá alcançar profundidades superiores, até 30 metros, que também é um valor característico de reservatórios rasos. As feições morfológicas de Itaocara II são bem mais marcantes: é muito estreito, raso e alongado para todo seu estirão. Seu curso longitudinal terá menos de 15 metros de profundidade que é um valor característico de reservatórios muito rasos. Ambos os reservatórios armazenam volumes de água considerados reduzidos se comparados com outros empreendimentos hidrelétricos na região da bacia do rio Paraíba do Sul. A partir da conjugação das feições morfológicas dos sistemas com os valores médios para afluências hidrológicas e de cargas, espera-se que os reservatórios assumam um comportamento muito mais próximo do regime lótico.

Todos os parâmetros investigados demonstraram proximidade com feições lóticas, sendo que um dos mais expressivos foi o tempo de residência, mostrando que o volume do reservatório se renova (em média) a cada trinta dias para Itaocara I e um dia para Itaocara II. Segundo tais resultados, não há nenhum cenário marcante apontando para estratificação térmica. Dessa forma, pode se esperar que, a partir dessa modelagem adicionada ao fato da retirada da vegetação antes da inundação, a contribuição para emissão de gases do efeito estufa nos reservatórios de Itaocara será de pequena ordem. De fato, uma vez implantados os reservatórios, recomenda-se um monitoramento básico e periódico de suas características, de forma a atender demandas ambientais associadas à modelagem de estimativas futuras.

Além disso, de acordo com Rosa *et al*. (2006), que realizaram a primeira aproximação de inventário brasileiro sobre emissões de gases do efeito estufa por hidrelétricas, a comparação das emissões de algumas hidrelétricas tropicais brasileiras com as produzidas por usinas termelétricas de combustíveis fósseis com o mesmo potencial energético concluiu que, na maioria dos casos, a hidrelétrica era mais limpa.

No contexto dos impactos ambientais climatológicos relacionados aos processos energéticos, as usinas termoelétricas exercem papel considerável, uma vez que, ao seu funcionamento estão atribuídos problemas como chuva ácida, buraco na camada de ozônio, além do efeito estufa. Ao se comparar as vantagens e desvantagens energéticas entre hidrelétricas e termoelétricas, conclui-se por fim que a fonte térmica se mostra mais impactante em relação às mudanças climáticas do que a matriz hidrelétrica (Rosa, 2007).

Vale a pena ressaltar que sob o aspecto da geração energética, a realidade brasileira difere muito da média mundial onde normalmente a matriz termelétrica configura-se como uma das principais fontes. Por outro lado, no Brasil predomina a hidroeletricidade como fonte de geração de energia que, por sua vez, parece ser ambientalmente menos impactante.