

Teresina, PI / Outubro, 2024



Neutralização das emissões atmosféricas de carbono pela Embrapa Meio-Norte 2015 a 2022

Alexandre Kemenes

Pesquisador, Embrapa Meio-Norte / UEP-Parnaíba, Parnaíba, PI.

Embrapa Meio-Norte

Av. Duque de Caxias, 5.650,
Bairro Buenos Aires
Caixa Postal 01
64008-480 Teresina, PI
www.embrapa.br/meio-norte
www.embrapa.br/fale-conosco/sac

Comitê Local de Publicações

Presidente

Braz Henrique Nunes Rodrigues

Secretária-executiva

Edna Maria Sousa Lima

Membros

*Ligia Maria Rolim Bandeira,**Orlane da Silva Maia, Maria**Eugênia Ribeiro, Kaesel Jackson**Damasceno Silva, Ana Lúcia**Horta Barreto, José Oscar**Lustosa de Oliveira Júnior,**Marcos Emanuel da Costa**Veloso, Flávio Favaro Blanco,**Francisco de Brito Melo, Izabella**Cabral Hassum, Tânia Maria Leal,**Francisco das Chagas Monteiro e**José Alves da Silva Câmara*

Edição executiva

Ligia Maria Rolim Bandeira

Revisão de texto

Francisco de Assis David da Silva

Normalização bibliográfica

Orlane da Silva Maia (CRB-3/915)

Projeto gráfico

Leandro Sousa Fazio

Diagramação

Jorimá Marques Ferreira

Publicação digital: PDF

Todos os direitos reservados à Embrapa.

Resumo — A Embrapa Meio-Norte tem um papel fundamental no desenvolvimento agropecuário da região Nordeste do Brasil, com a responsabilidade de oferecer não somente tecnologias, oriundas das pesquisas científicas, mas também direcionar práticas que tragam mudanças no comportamento das pessoas. Com isso, o objetivo deste estudo é trazer subsídios para uma gestão administrativa mais sustentável, buscando o controle das emissões de gases de efeito estufa (GEEs) em relação aos gastos de energia (combustíveis fósseis e eletricidade), trazendo medidas para mitigação e neutralização das emissões, auxiliando na sustentabilidade da Empresa. Desde 2015, vêm sendo realizados diagnósticos administrativos monitorando o consumo de energia da Embrapa Meio-Norte (combustíveis fósseis e eletricidade), cujas informações foram transformadas em CO₂-equivalente com base nas emissões atuais de GEEs, médias nacionais dos veículos automotores e em relação às emissões médias mensais de fatores de emissão da matriz elétrica nacional, dentro de um contexto global. A neutralização das emissões de GEEs da Unidade, de 2015 a 2022, foi proposta pelo plantio de árvores nativas. Também foi determinada a influência dos eventos climáticos extremos sobre as emissões de GEEs no uso de energia pela Unidade, buscando prever ações para a mitigação dessas emissões. Nos cálculos das emissões de CO₂e pelo consumo de energia elétrica, encontrou-se um total de 803 Mg CO₂e; nos cálculos das emissões de CO₂e pelo consumo de combustíveis fósseis, um total de 1.374 Mg CO₂e. Calculou-se que a quantidade total de árvores necessárias à neutralização das emissões de GEEs da Embrapa Meio-Norte, de 2015 a 2022, era de cerca de 15 mil unidades. O plantio de árvores é a melhor solução para neutralizar as emissões atmosféricas de GEEs e melhorar o planeta em que vivemos. Os resultados obtidos poderão ser tratados como processos transversais e orientar na normatização de metodologias para o desenvolvimento de práticas administrativas que auxiliem na criação de uma gestão sustentável modelo, que poderá ser incorporada nessa e em outras Unidades da Embrapa, mas também por outras empresas públicas e privadas.

Termos para indexação: gases de efeito estufa, mudanças climáticas, mitigação do processo de aquecimento global, energia elétrica, combustíveis fósseis, neutralização das emissões.

Abstract — Embrapa Meio-Norte plays a fundamental role in the agricultural development of the Northeast region of Brazil, with the responsibility of offering not only technologies derived from scientific research, but also directing practices that bring about changes in people's behavior. With this in mind, the aim of this study is to provide support for more sustainable administrative management, seeking to control greenhouse gas emissions (GHGs) together with energy costs (fossil fuels and electricity), providing measures to mitigate and neutralize emissions, helping the company's sustainability. Since 2015, administrative diagnostics have been carried out monitoring Embrapa Meio-Norte's energy consumption, fossil fuels and electricity, and this information has been transformed into CO₂-equivalent, based on current greenhouse gas (GHG) emissions, national averages for motor vehicles and in relation to the average monthly emissions of emission factors from the national electricity matrix, within a global context. The neutralization of the Unit's GHG emissions from 2015 to 2022 was proposed by planting native trees. The influence of extreme weather events on GHG emissions from the Unit's energy use was also determined, with a view to predicting actions to mitigate GHG emissions. When calculating CO₂e emissions from electricity consumption, a total of 803 Mg CO₂e was found. When calculating CO₂e emissions from fossil fuel consumption, a total of 1,374 Mg CO₂e was found. The total number of trees needed to neutralize Embrapa Meio-Norte's GHG emissions between 2015 and 2022 was calculated to be around 15,000 units. Planting trees is the best solution for neutralizing atmospheric GHG emissions and improving the planet we live on. The results obtained can be treated as cross-cutting processes and guide the standardization of methodologies for the development of administrative practices that help create a sustainable management model, which can be incorporated into this and other Embrapa units, but also by other public and private companies.

Index terms: greenhouse gases, climate change, mitigating the global warming process, electricity, fossil fuels, neutralizing emissions.

Introdução

A diminuição de gastos administrativos aliada ao desenvolvimento sustentável é um processo amplamente desejado pelas empresas públicas e privadas, mas que atingiu maior visibilidade nos últimos anos pela noção mais clara dos impactos que o homem vem causando ao meio ambiente e suas influências sobre o clima global. Buscando alcançar altos padrões de consumo, a sociedade se lançou numa corrida desenfreada para o crescimento, sem pensar nos impactos sobre a natureza e qualidade de vida das pessoas. O desenvolvimento sustentável é uma forma de crescer e satisfazer as necessidades presentes, mas sem comprometer as futuras. É um compromisso que se deve ter com as futuras gerações. Um planeta sustentável deve atender a sistemas produtivos e às necessidades de um bem-estar coletivo, sempre com a manutenção do equilíbrio natural.

O desenvolvimento sustentável começou a ser construído pela Organização das Nações Unidas (ONU) a partir da Declaração de Estocolmo, na Suécia, em 1972, pela consciência do risco eminente da degradação crescente dos recursos naturais como consequência da apropriação indevida da natureza e consolidação de uma ideologia equivocada de crescimento econômico ilimitado. As preocupações crescentes resultaram na elaboração de um relatório conhecido como "Nosso Futuro Comum", que definiu o desenvolvimento sustentável como "aquele que satisfaz as necessidades da geração presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras de atenderem também as suas". Entre as estratégias propostas, a reorientação das políticas públicas nacionais, mas com base no desenvolvimento sustentável, deve nortear ações como segurança alimentar, mudanças na matriz energética, economia de água e saneamento básico; controle do crescimento populacional; conservação dos recursos naturais; e, principalmente, a inclusão do meio ambiente em todas as tomadas de decisões políticas (Brasil, 2001).

As mudanças que o homem vem realizando desde o início da Revolução Industrial estão alterando um delicado equilíbrio, incrementando o processo de aquecimento global. Nesse processo, o principal gás de efeito estufa (GEE) é o dióxido de carbono (CO₂). O CO₂ serve como uni-

dade de referência para os demais, ou seja, uma molécula de CO₂ sempre terá o índice de aquecimento global igual a 1, se comparado aos outros GEEs. Por exemplo, o metano, que é o segundo GEEs mais abundante gerado pelo homem, é 34 vezes mais poderoso, num horizonte de 100 anos, que o CO₂ para o processo de aquecimento global (Solomon et al., 2007; Kemenes et al., 2012). Os eventos climáticos extremos são processos naturais, porém vêm aumentando sua frequência e intensidade em decorrência da intensificação do processo de aquecimento global. A Oscilação Sul (variação da pressão atmosférica sobre o oceano Pacífico Sul) e o El Niño (aquecimento acima da média das águas superficiais desse oceano) sofrem uma interação conhecida como Enos (Enso + Oscilação Sul), associada às condições mais secas na Amazônia e na região Nordeste, além das enchentes na região Sul e no litoral da região Sudeste do Brasil. Outros eventos climáticos extremos também influenciam a distribuição das chuvas, como as anomalias de temperatura da superfície do Oceano Atlântico Sul, TSAI (Temperatura Superficial do Atlântico Sul), e do Oceano Atlântico Norte, TNAI (Temperatura Superficial do Atlântico Norte) (Ferreira; Kemenes, 2023). Esses eventos podem afetar os ecossistemas naturais e a distribuição de água nos sistemas produtivos, trazendo dificuldades na produção de alimentos e abastecimento da população (Kemenes et al., 2012).

Apesar de o Brasil ser um país predominantemente urbano, ou seja, mais de 80% da população vive em cidades, a maioria das emissões brasileiras não vem da queima dos combustíveis fósseis e/ou produção de energia elétrica, como acontece em países desenvolvidos e também nos países em desenvolvimento, mas do desmatamento e da queima das florestas nativas, práticas que antecedem o plantio da monocultura e a criação extensiva de gado (Kemenes et al., 2023). Com isso, a redução do desmatamento e da queima das florestas é uma medida indispensável para o controle das emissões de GEEs, melhoria de qualidade de vida da população e manutenção do patrimônio genético. Dentro desse pensamento, uma das soluções para equilibrar o clima e manter o ambiente mais agradável é o plantio de árvores. Se cada habitante plantasse uma árvore por ano, seriam plantadas, anualmente, mais de 7 bilhões de árvores. Os países desenvolvidos poderiam auxiliar os me-

nos favorecidos, levando conhecimento e doando materiais necessários, trazendo o desenvolvimento dos bancos de sementes, a produção de insumos, a construção e o desenvolvimento de viveiros de mudas, auxiliando a recompor as nossas florestas perdidas.

A energia elétrica é essencial ao desenvolvimento da nossa sociedade. Na maioria dos países, ela vem da queima de combustíveis fósseis, com destaque para o uso do carvão mineral, que provoca fortes emissões de GEEs para a atmosfera terrestre, e do gás natural, que apresenta intensos vazamentos. Ambos efetivamente são os que mais contribuem no incremento do processo de aquecimento global. No Brasil, entretanto, a maior parte da energia elétrica, cerca de 75%, é produzida por hidrelétricas. Apesar de ser considerada uma energia limpa, estudos científicos já comprovaram que, quando os reservatórios de hidrelétricas alagam vastas áreas com vegetação nativa, ocorre a decomposição desse material vegetal por bactérias metanogênicas, que produzem quantidades expressivas de gases de efeito estufa (metano e gás carbônico) durante décadas. Esses gases são emitidos pela superfície dos reservatórios, na passagem pelas turbinas da hidrelétrica e pelos rios abaixo das barragens, incrementando o processo de aquecimento global. No caso das hidrelétricas amazônicas, as emissões podem ser comparadas a usinas termelétricas de mesma potência (Kemenes et al., 2007). As emissões de GEEs por hidrelétricas ainda não foram devidamente contabilizadas no inventário nacional de emissões e também necessitam ser mais bem avaliadas nos cálculos dos fatores de emissão do Sistema Integrado Nacional (SIN).

O setor mundial dos transportes terrestres responde por mais de 20% das emissões antrópicas de GEEs. No Brasil, segundo as informações do Ministério de Ciência e Tecnologia (MCT), esse setor é responsável por 9% das emissões totais de GEEs. Considerando-se o transporte rodoviário no Brasil, os ônibus respondem por mais de 60% dos deslocamentos urbanos e 95% dos intermunicipais, porém são os responsáveis por apenas 7% das emissões de GEEs do setor. Os automóveis têm menos de 30% da participação nas viagens, mas contribuem com mais de 40% dessas emissões, mostrando a grande vantagem ambiental da substituição do transporte individual pelo coletivo. Os caminhões contribuem

com mais de 50% das emissões, mas são os responsáveis pelo transporte de 90% dos materiais utilizados. Geralmente as pessoas associam a poluição aos veículos pesados e velhos, ou seja, ônibus e caminhões, que normalmente são colocados como os grandes vilões da poluição dos centros urbanos, desconsiderando-se os automóveis pequenos e as motocicletas dessa responsabilidade. Entretanto, um ônibus transporta 70 pessoas, o que equivale a 50 automóveis nas ruas. Sendo assim, é necessário examinar melhor quem são os reais responsáveis pelas emissões de GEEs nos grandes centros urbanos (Carvalho, 2011).

Em 2013, foi publicado o Plano de Logística Sustentável do MMA (Brasil, 2013), uma ferramenta de planejamento que vem auxiliando na racionalização dos gastos institucionais e processos administrativos das empresas públicas e privadas. O Brasil (2013) está estruturado em projetos, iniciativas e metas, de curto e médio prazos. Foi desenvolvido para auxiliar a promover a sustentabilidade nacional. Diversos projetos e ações integram o Brasil (2013), como o Programa de Eficiência de Gastos Públicos (PEG), o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (Procel), a Agenda Ambiental na Administração Pública (A3P), a Coleta Seletiva Solidária (SG/PR), o Projeto Esplanada Sustentável (PES) e as Contratações Públicas Sustentáveis (SLTI), podendo fornecer informações para auxiliar a encontrar a sustentabilidade ambiental para as empresas. Desde 2017, a Embrapa Meio-Norte vem-se orientando por meio desse e de outros documentos, consolidando seu Plano de Gestão Logística Sustentável (PLS), gerenciado por um Comitê Local de Sustentabilidade (CLS), construído em seis grandes eixos de sustentação: 1) uso sustentável de material de consumo; 2) eficiência no uso de água; 3) coleta seletiva do lixo; 4) qualidade de vida e ambiente de trabalho, saúde e segurança; 5) eficiência no consumo de energia elétrica e combustíveis; e 6) compras e serviços sustentáveis. O PLS vem atuando na promoção de campanhas para a sensibilização dos empregados, estagiários, bolsistas e terceirizados, estabelecendo uma política de gestão sustentável. O plano tem trazido a melhoria da

qualidade dos produtos e serviços gerados. No início de 2023, foi publicado um documento que disponibilizou as ações realizadas durante os 6 primeiros anos de trabalhos dessa comissão. Foi o primeiro documento da série governança, que vem realizando publicações anuais, de forma aberta e transparente, da evolução administrativa da Embrapa Meio-Norte, buscando torná-la mais sustentável quanto ao uso de recursos, dentro de um aprendizado em educação ambiental, com o comportamento dos empregados, e mudanças de adequação nas estruturas físicas de apoio (Kemenes et al., 2023). Todos os anos, são bilhões de toneladas de carbono emitidas pelo homem para a atmosfera. Para neutralizar esse impacto, é necessário sequestrar carbono emitido para atmosfera. Para isso, vêm sendo realizados inventários de emissões, que medem o tamanho das pegadas de carbono por empresas públicas e privadas. A compensação dessas emissões pode ser realizada pelo plantio de árvores em áreas degradadas. Esse método apresenta alta eficiência energética com baixo custo econômico, trazendo não somente o sequestro do carbono atmosférico, mas também a geração de empregos, segurança alimentar, melhoria da qualidade de vida da população, equilíbrio climático e ambiental. Nesse contexto, o presente documento teve como objetivo principal quantificar as emissões de gases de efeito estufa (GEEs) da Embrapa Meio-Norte, realizadas por meio de gastos energéticos (combustíveis e eletricidade) no período de 2015 a 2022, investigando as influências dos eventos climáticos extremos e contabilizando as árvores necessárias para neutralizar os possíveis impactos dessas emissões, sempre em busca de trazer mais sustentabilidade ambiental para a Unidade. Os objetivos de Desenvolvimento Sustentável buscam facilitar o desenvolvimento de ações integradas pelo mundo, de modo a gerar impactos reais na construção do desenvolvimento sustentável de governos, empresas e sociedade como um todo. Este estudo está alinhado ao décimo segundo Objetivo de Desenvolvimento Sustentável da ONU, consumo e produção responsáveis: assegurar padrões de produção e de consumo sustentáveis (Agenda..., 2015).

Material e métodos

As informações foram obtidas junto aos responsáveis pelos setores administrativos da Embrapa Meio-Norte, na sede em Teresina (CPAMN) e na Unidade de Execução de Pesquisas de Parnaíba (UEP-Parnaíba), no período de 2015 a 2022. Para quantificar as emissões, foram utilizadas as informações sobre os gastos energéticos (combustíveis e eletricidade) e os fatores de emissão disponíveis.

O fator de emissão é uma constante previamente calculada por especialistas, que permite determinar as emissões de GEEs por uma atividade num determinado local e período. Os fatores de emissão foram descritos por meio da *Primeira Comunicação Nacional Inicial do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima* (Brasil, 2004) e da *Segunda Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças do Clima* (Brasil, 2010), ambas publicadas pelo Ministério da Ciência e Tecnologia e Inovação (MCTI) no *Manual Revisado de 1996* (Houghton et al., 1996), do *Guia de Boa Prática e Tratamento de Incertezas de 2000* (Galbally, 2002) e do *Guia de Boa Prática para Uso da Terra, Mudança no Uso da Terra e Floresta* (Penman et al., 2003). Todos esses documentos estão contidos no *Painel Intergovernamental sobre as Mudanças do Clima* (Eggleston et al., 2006; Stocker et al., 2013; Pachauri; Meyer, 2014).

Os inventários de emissões de GEEs são normalmente realizados de acordo com as metodologias descritas no GHG Protocol, sendo compatíveis com as normas da International Organization for Standardization (ISO) e com o Painel Intergovernamental sobre as Mudanças do Clima (IPCC). Suas diretrizes foram definidas pelo IPCC, apresentando metodologias para a estimativa das emissões e remoções de GEEs, e o documento IPCC Guidelines 2006 (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2006) é, até o momento, a versão mais completa, atual e disponível de acesso a essas informações. Apesar de ser um programa mundial, o GHG Protocol foi adaptado de acordo com as características do Brasil, surgindo assim o Programa Brasileiro GHG Protocol, que é independente dos fatores de emissão sugeridos nas publicações reconhecidas internacionalmente.

A classificação das fontes de emissão é determinante para definir o grau de responsabilidade sobre a emissão. A definição do escopo não depende somente do tipo de fonte, mas também de quem detém o controle. Com o intuito de auxiliar na definição do es-

copo, foram estabelecidas três categorias (utilizadas na ISO 14064): escopo 1, emissões diretas; escopo 2, emissões indiretas, de geração de energia, compradas de um fornecedor de serviço público; escopo 3, emissões indiretas, relacionadas a bens e serviços comprados ou adquiridos (*upstream*) ou bens e serviços vendidos (*downstream*) por uma empresa particular (Carvalho, 2011). Os cálculos das emissões de GEEs podem mostrar resultados em gigagramas ($Gg = 10^9 g = 1.000$ toneladas) ou megagramas ($Mg = 10^6 g = 1.000 kg = 1$ tonelada), conforme a magnitude da atividade. O inventário foi realizado com base no ano de 2016 e apresentará resultados em CO_2 equivalentes (CO_2 -eq), considerando-se um intervalo de 100 anos, junto ao processo de aquecimento global (Solomon et al., 2007).

Caracterização climática e ambiental dos locais em estudo

Os parâmetros climáticos e ambientais (temperatura, umidade relativa do ar, velocidade do vento, radiação solar, insolação, evapotranspiração e precipitação) foram obtidos de duas estações meteorológicas automáticas do INMET (UEP-Parnaíba e Embrapa Meio-Norte em Teresina). O clima na planície litorânea do Piauí é Aw, de acordo com a classificação climática de Koeppen, apresentando uma estação seca bem definida, de julho a dezembro, e de chuvas, de janeiro a junho (Andrade Júnior et al., 2005). Na última década, essa localidade apresentou temperatura média anual de 28 °C, umidade média anual relativa de 74%, tempo médio diário de insolação de cerca de 8 horas, acumulado de evaporação anual de 1.850 mm e precipitação anual de 960 mm (Tabela 1).

O estado do Piauí está situado entre a Pré-Amazônia Úmida e o Nordeste Semiárido, numa zona de transição climática com as características desses dois domínios geoambientais. O clima de Teresina, de acordo com a classificação climática de Thornthwaite (1948), é C1sA'a', caracterizado como subúmido seco, megatérmico, com excedente hídrico moderado no verão e concentração de 32,2% da evapotranspiração potencial no trimestre que compreende os meses mais secos de setembro, outubro e novembro (Andrade Júnior et al., 2005). Na última década, a temperatura média anual do ar desse local ficou em torno de 28 °C; a umidade relativa do ar, 67%; o tempo médio diário de insolação foi de 8 horas; o acumulado de evaporação anual, de 1.750 mm; e o acumulado de precipitação anual, de 1.340 mm (Tabela 2).

Tabela 1. Parâmetros médios mensais [T - temperatura (°C); U - umidade relativa do ar (%); V - velocidade do vento (m/s); e I - tempo diário de insolação (h)] e total mensal [(E - evapotranspiração (mm) e P - precipitação (mm)] de 2011 a 2021, registrados pela subestação automática do INMET na Embrapa, UEP-Parnaíba, PI.

Parâmetro climático-ambiental						
Mês	T	U	V	I	E	P
Janeiro	28,03	76,22	2,48	6,68	138,08	105,56
Fevereiro	27,51	78,52	1,87	5,90	115,74	179,29
Março	27,40	81,76	1,42	5,98	126,63	202,34
Abril	27,22	83,05	1,17	6,33	118,95	217,67
Mai	27,52	78,26	1,17	7,41	122,86	117,01
Junho	27,28	74,35	1,32	7,91	133,95	53,38
Julho	27,46	72,04	1,55	8,13	145,01	47,53
Agosto	28,26	69,51	2,36	9,41	173,76	4,95
Setembro	28,99	68,10	3,34	9,60	190,60	2,93
Outubro	29,32	66,66	3,82	9,47	204,85	5,33
Novembro	29,24	68,59	3,84	9,09	191,12	12,39
Dezembro	29,04	69,94	3,58	8,05	187,76	12,51

Tabela 2. Médias mensais [T - temperatura (°C); U - umidade relativa do ar (%); V - velocidade do vento (m/s); e I - tempo diário de insolação (h)] e total mensal [(E - evapotranspiração (mm) e P - precipitação (mm)] de 2011 a 2021 dos parâmetros registrados pela subestação automática do INMET na sede da Embrapa Meio-Norte em Teresina, PI.

Parâmetro climático-ambiental						
Mês	T	U	V	I	E	P
Janeiro	28,17	75,32	0,93	6,01	138,39	174,91
Fevereiro	27,65	78,51	0,87	5,43	115,71	274,94
Março	27,73	80,68	0,83	6,21	133,88	312,92
Abril	27,86	79,85	0,81	6,77	127,07	261,98
Mai	27,91	78,71	0,86	8,26	134,27	90,94
Junho	27,61	72,72	0,97	8,87	129,97	26,03
Julho	27,45	65,75	1,00	9,38	142,11	36,45
Agosto	28,52	56,18	1,15	10,17	161,99	5,05
Setembro	29,95	51,75	1,21	9,61	173,91	9,19
Outubro	30,79	51,27	1,22	9,09	184,33	20,81
Novembro	30,52	56,73	1,21	8,02	148,26	42,09
Dezembro	29,71	63,26	1,07	7,19	141,49	83,86

Eventos climáticos extremos

As informações das anomalias de temperatura da superfície do mar (TSM) do Oceano Pacífico Equatorial (localidades: Niño 1+2, Niño 3, Niño 3.4 e Niño 4) e índices de temperatura da superfície do Oceano Atlântico Tropical [Atlântico Norte Tropi-

cal (TNAI) e Atlântico Sul Tropical (TSAI)] foram adquiridas por meio do site da Climate... (2022). Os valores colocados nos gráficos são referências dessas anomalias e correspondem às diferenças entre as temperaturas normal e alterada e podem apresentar valores positivos ou negati-

vos. No caso do fenômeno El Niño, quando as diferenças são positivas é o aquecimento da superfície do mar; quando são negativas, é o resfriamento, ou seja, um possível fenômeno La Niña.

As anomalias de TSM exercem fortes influências sobre toda variabilidade climática regional (Figura 1), influenciando diretamente o regime pluviométrico de toda a região Semiárida do Nordeste do Brasil (Alves, 2017).

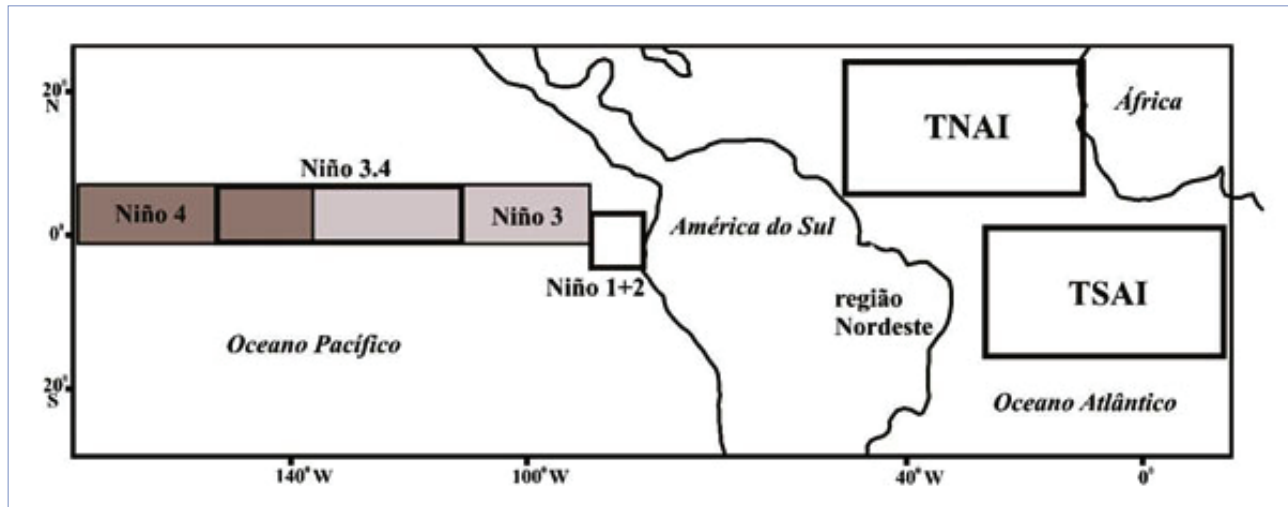


Figura 1. Localização geográfica da origem das anomalias de TSM, Enso (El Niño 1+2, 3, 3.4, 4), TNAI e TSAI em relação à região Nordeste do Brasil.

Fonte: Kemenes et al. (2012).

Relações estatísticas

As variáveis climáticas, anomalias de TSM dos oceanos Atlântico e Pacífico, foram correlacionadas aos gastos de combustíveis, de eletricidade e de emissões de GEEs correspondentes pelo índice de correlação de Pearson. A análise foi realizada para avaliar o grau de influência dos eventos climáticos extremos sobre o local de estudo. O coeficiente de Pearson (ρ) assume valores entre -1 e +1, em que $\rho = +1$ é uma correlação positiva perfeita entre as duas variáveis e $\rho = -1$ é uma correlação negativa perfeita, ou seja, se uma variável aumenta, a outra diminui. Se $\rho = 0$ ou muito pequeno, significa que as duas variáveis não dependem linearmente uma da outra. Assim, $\rho > 0,5$ ou $\rho < -0,5$ indica forte correlação; para $-0,5 < \rho < -0,3$ ou $0,5 > \rho > 0,3$, a correlação é considerada moderada; e para $\rho < 0,3$ e $\rho > -0,3$, a correlação é fraca ou nula. Buscando avaliar se as correlações são estatisticamente significativas ao nível de 5% ($p < 0,05$), foi realizado o teste t. As relações entre os parâmetros analisados foram investigadas por meio de Regressão Linear Simples pelo Programa Statistica (STAT 14) (Sneath; Sokal, 1973).

Combustíveis

Por meio da composição das massas dos elementos químicos, que compõem os combustíveis utilizados pela Unidade, foram obtidas as relações

entre a biomassa de CO_2 emitido por litro de combustível utilizado. Cada grama de gasolina pura queimada gera 3,08 g de CO_2 (352/114). Considerando-se a densidade de 0,740 kg/L da gasolina pura, foi obtida uma relação de 2,28 kg de CO_2 /L. Entretanto, no Brasil, a gasolina não é utilizada pura, mas numa mistura de 30% com etanol, sendo 0,56 kg de CO_2 /L o fator de emissão dos veículos movidos a etanol. Assim, o fator de emissão dos veículos movidos a gasolina no Brasil fica em cerca de 1,75 kg de CO_2 /L (Carvalho, 2011). Os estudos europeus mostraram que, para cada litro de gasolina disponível nos postos, existe uma emissão anterior de cerca de 0,55 kg de CO_2 para produção e distribuição (Soares et al., 2009). Por isso, é aceitável o fator de emissão de 2,3 kg de CO_2 /L para os veículos movidos a gasolina no País. Quanto aos veículos movidos a óleo diesel, esses emitem mais CO_2 por unidade de volume em relação aos demais motorizados. Foi utilizado neste estudo um fator de emissão médio de cerca de 2,65 kg de CO_2 para cada litro de diesel queimado e que, somado ao valor médio para produzir e distribuir esse combustível, foi atingido um fator de emissão de cerca de 3,2 kg de CO_2 /L (Carvalho, 2011). As emissões foram calculadas a partir dos dados de consumo médio mensal dos veículos, separados em categorias, no mesmo período, classificadas como emissão indireta, escopo 3. Os combustíveis utilizados neste estudo foram a gasolina e o óleo diesel.

Para quantificar as emissões de dióxido de carbono equivalentes (CO_2e), junto ao processo de aquecimento global, provenientes da queima dos combustíveis fósseis pela Embrapa Meio-Norte, foi utilizada a Equação 1.

$$\text{Emissão (CO}_2\text{e/mês)} = fe * Ecf \quad (1)$$

em que

Ecf = a quantidade de litros de combustíveis.

fe = fator de emissão pela queima de combustíveis fósseis ($\text{tCO}_2\text{e/L}$).

Esse valor será calculado mensalmente de forma permanente e contínua, resultando em inventários atualizados das emissões de GEEs da Embrapa Meio-Norte com a queima de combustíveis fósseis.

Eletricidade

Foram utilizados fatores médios mensais de emissão, gerados por meio do Sistema Interligado Nacional do Brasil (SIN), para estimar as emissões de equivalentes de CO_2 associadas ao consumo de energia elétrica no País. Esses fatores foram calculados mensalmente, levando-se em consideração um rodízio no funcionamento das diferentes unidades geradoras de energia elétrica em determinado período. Se todos os consumidores de energia elétrica do País calculassem suas emissões multiplicando a energia consumida pelo fator mensal de emissão, esse somatório corresponderia às emissões do SIN. A matriz energética brasileira conta com diversos tipos de unidades geradoras de energia elétrica, como as hidrelétricas, as termelétricas, as usinas nucleares e eólicas, formando o SIN. Cada uma dessas unidades emite uma quantidade diferenciada de GEEs, calculada por especialistas levando-se em consideração os diversos fatores climáticos, ambientais, econômicos e sociais associados. O Ministério da Ciência Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC) divulga os dados mensais dos fatores de emissão de gases de efeito estufa, provenientes da geração de energia total em rede. A contabilização das emissões pela geração de energia elétrica determina a quantidade de eletricidade consumida pela Empresa de acordo com o fator de emissão médio do período. Para quantificar as emissões de dióxido de carbono equivalente (CO_2e), provenientes do consumo de energia elétrica pela Embrapa Meio-Norte, foi utilizada a Equação 2. Os dados de fatores médios de emissão foram retirados do inventário corporativo do MCTI.

$$\text{Emissão (tCO}_2\text{e/mês)} = E_{AD} * fi \quad (2)$$

em que

E_{AD} = energia utilizada no mês (MWh/mês).

fi = fator de emissão médio do grid brasileiro no mês ($\text{tCO}_2\text{e/MWh}$).

O consumo de energia elétrica chega aos consumidores, Embrapa Meio-Norte, em kWh, sendo necessário fazer sua conversão para MWh para que seja utilizado com o fator de emissão. A emissão de gases de efeito estufa, em equivalentes de CO_2 , deve ser calculada mensalmente, de forma permanente e contínua, resultando em inventários atualizados das emissões de GEEs realizados pela Empresa, por meio dos gastos em energia elétrica. Os dados brutos de energia elétrica foram fornecidos pela administração da Unidade pelo consumo médio mensal em kWh^{-1} , de janeiro de 2015 a dezembro de 2022, convertidos em MWh^{-1} . Os valores finais de emissão foram expressos em Gg CO_2 e classificados como emissão indireta, escopo 3.

Resultados e discussão

Energia elétrica

Com as informações obtidas pelos setores administrativos e por meio dos relatórios anuais da Comissão de Logística Sustentável (CLS) da Embrapa Meio-Norte, de janeiro de 2015 a dezembro de 2022, foi constatado que o consumo de energia elétrica tem diminuído desde 2015 (Figura 2). A redução foi de aproximadamente 10% entre 2016 e 2020. A maior parte da energia consumida pela Unidade vem sendo utilizada nos campos experimentais, principalmente pelos sistemas de irrigação com o bombeamento de água. Diversas ações vêm sendo adotadas para a redução desse consumo, como a eliminação dos vazamentos, a instalação de bombas de água de menor potência, o acionamento intercalado de bombas, a revisão periódica do sistema e o redimensionamento dos motores.

Ao avaliar a série histórica desde 2016, observou-se que a Embrapa Meio-Norte tem diminuído significativamente o consumo de energia elétrica, tanto na sede em Teresina, quanto na UEP-Paraná. Verificou-se redução de 11% no consumo de 2017 a 2018. Já em 2019, houve pequeno aumento, em torno de 1% no consumo em relação a 2018. Em 2020 e 2021, devido ao isolamento social pelo teletrabalho, ocorreu diminuição do

consumo de energia elétrica em relação a 2019. Esse desempenho, além do efeito pandemia da covid-19, foi impactado por diversas medidas de economia implementadas pela Unidade, buscando mais sustentabilidade ambiental, contando com o auxílio de colaboradores, por meio de uma série de boas práticas. A redução dos horários de funcionamento dos aparelhos de ar condicionado em 90 minutos diários no primeiro semestre e 60 minutos diários no segundo semestre; a conscientização dos empregados quanto ao uso do formato digital para o envio de documentos e para reuniões online; o monitoramento constante da rede elétrica e dos equipamentos de alto consumo, visando à rápida resolução de eventuais problemas, com a prevenção de desperdícios; a contratação, por meio de dispensa de licitação, de uma empresa para a lavagem dos veículos, reduzindo gastos com energia; a captação de água para o abastecimento de reservatórios durante os horários de tarifa reduzida; a otimização do uso da irrigação nos experimentos de campo; e o constante monitoramento das redes hidráulicas prediais, evitando o desperdício de água, com o acionamento/desligamento automático das bombas.

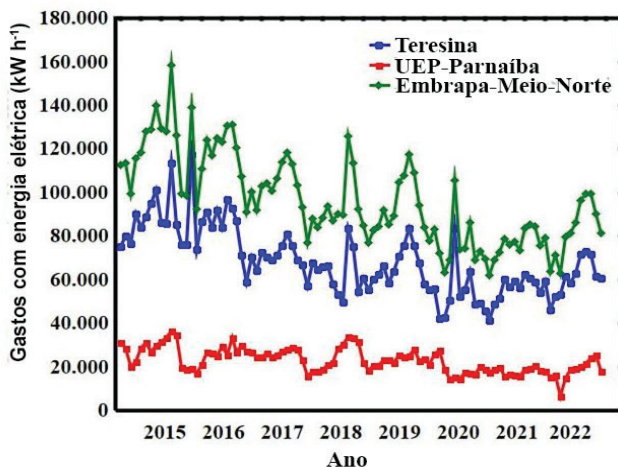


Figura 2. Variação mensal do consumo de energia elétrica pela Embrapa Meio-Norte de 2015 a 2022.

Nos cálculos das emissões de CO₂e pelo consumo de energia elétrica da Embrapa Meio-Norte, em 2015 foram emitidos 175 Mg CO₂e (43 Mg CO₂e pela UEP-Parnaíba e 132 Mg CO₂e pelo CPAMN em Teresina), e que essas emissões diminuíram gradativamente ao longo dos anos. Em 2016, foram emitidos 109 Mg CO₂e (23 Mg CO₂e pela UEP-Parnaíba e 86 Mg CO₂e pelo CPAMN em Teresina). Já em 2017, houve pequeno aumento, para 110 Mg CO₂e (30 Mg CO₂e pela UEP-Parnaíba e 80 Mg CO₂e pelo CPAMN em Teresina). A diminuição mais inten-

sa ocorreu em 2018, para 77 Mg CO₂e (22 Mg CO₂e e pela UEP-Parnaíba e 55 Mg CO₂e pelo CPAMN em Teresina). Houve certa estabilidade em 2019 numa emissão de 83 Mg CO₂e (21 Mg CO₂e pela UEP-Parnaíba e 62 Mg CO₂e pelo CPAMN em Teresina). Em 2020, essa queda aumentou, alcançando 54 Mg CO₂e (14 Mg CO₂e pela UEP-Parnaíba e 40 Mg CO₂e pelo CPAMN em Teresina). Em 2021, as emissões voltaram a aumentar, para 112 Mg CO₂e (27 Mg CO₂e pela UEP-Parnaíba e 85 Mg CO₂e pelo CPAMN em Teresina), diminuindo fortemente e registrando apenas 40 Mg CO₂e (9 Mg CO₂e pela UEP-Parnaíba e 31 Mg CO₂e pelo CPAMN em Teresina) em 2022 (**Figura 3**).

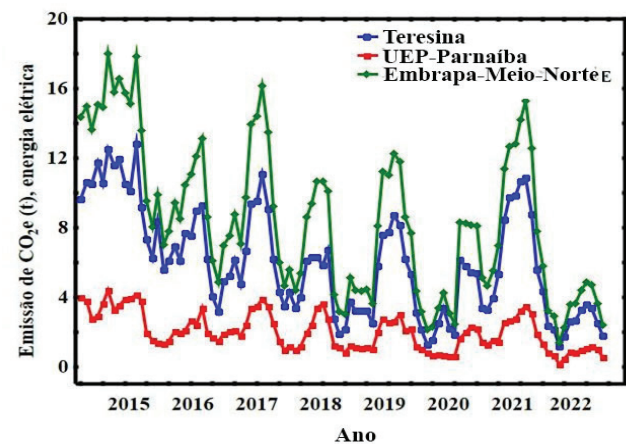


Figura 3. Emissão de CO₂e por meio dos gastos com energia elétrica pela Embrapa Meio-Norte de 2015 a 2022.

Ao comparar as emissões de CO₂e aos gastos de energia nos mesmos anos, verifica-se que existe certa discrepância quanto aos resultados encontrados, ou seja, as quedas das emissões de CO₂e não foram diretamente proporcionais às diminuições dos gastos com energia elétrica. Isso está correlacionado às intensas variações que ocorrem com os fatores mensais de emissão, que dependem do tipo de usina energética utilizada, durante determinado período do ano. Ao observar de forma mais detalhada a evolução da Matriz Energética Nacional, encontrou-se um crescimento substancial na geração de energias eólica e solar domiciliar a partir de 2019, mas principalmente de 2020 a 2022. Entretanto, as mais intensas alterações nos fatores mensais de emissão se devem, principalmente, à grande variação do volume de água dos reservatórios da maioria das usinas hidrelétricas brasileiras. É importante destacar que a energia elétrica no Brasil é dependente da regularidade das chuvas, que depende dos fatores climáticos extremos como o El Niño.

Fatores sociais também podem estar afetando a diminuição das emissões de gases de efeito estufa, como um melhor comportamento dos empregados, que passaram a ter mais clareza nas questões socioambientais, com a busca de um modelo de vida mais saudável, influenciado pelos trabalhos educativos realizados pela equipe do CLS da Embrapa Meio-Norte. O plano de contingenciamento da Covid-19 diminuiu a presença dos trabalhadores na Unidade em 2020. A persistência da pandemia em 2021 trouxe a continuação do plano de contingenciamento e da diminuição do uso de recursos, dando seguimento à diminuição dos gastos com energia.

Combustíveis fósseis

Foram realizados gastos de combustíveis fósseis pela Embrapa Meio-Norte, de 2015 a 2022, para o deslocamento de pessoas, animais e materiais por meio de carros, caminhonetes, caminhões e motos mas, também em razão do trabalho de tratores e de outras máquinas agrícolas (Figura 4).

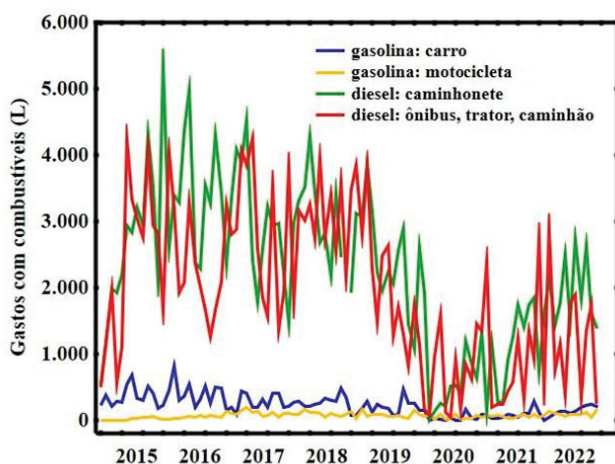


Figura 4. Gastos com combustíveis fósseis realizados por veículos na Embrapa Meio-Norte, de 2015 a 2022.

Os resultados encontrados demonstraram diminuição das emissões de GEEs pela Embrapa Meio-Norte no uso de combustíveis fósseis (Figura 5). Para melhorar ainda mais esse resultado, algumas medidas vêm sendo idealizadas, como o incentivo ao uso do transporte coletivo e o sistema de carona participativa, atividades fundamentais para o comportamento e consciência ambiental dos empregados. Além disso, medidas corporativas, buscando a redução dos gastos de combustíveis, refletiram nessa diminuição. Desde

2018, vem ocorrendo a redução dos dias de saída de veículos para os serviços externos de rotina da Unidade em 3 dias por semana. Foram também unificadas as demandas na utilização dos veículos, ou seja, as viagens programadas para o mesmo destino, em mesmo período, devem ser feitas num único veículo. Em 2018, foram realizadas alterações na rota do transporte coletivo para reduzir o percurso e o número de paradas. Em 2019, devido ao baixo número de empregados que utilizavam o serviço, o transporte coletivo foi retirado no horário do almoço em Teresina, trazendo boa economia de combustíveis. Já em setembro de 2019, foi retirada a totalidade dos serviços de transporte coletivo em Teresina, resultando numa economia de 70% nos gastos com combustível pelo transporte coletivo da Embrapa Meio-Norte.

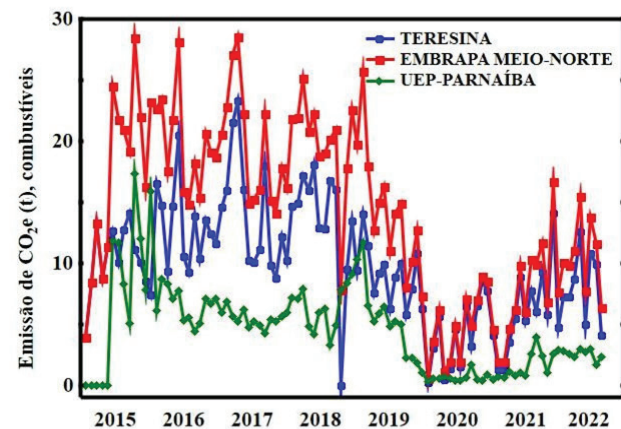


Figura 5. Emissão de CO₂e por meio do uso de combustíveis fósseis veiculares pela Embrapa Meio-Norte de 2015 a 2022.

Nos cálculos das emissões de CO₂e pelo consumo de combustíveis fósseis da Embrapa Meio-Norte, em 2015 foram emitidos 199 Mg CO₂e (74 Mg CO₂e pela UEP-Parnaíba e 125 Mg CO₂e pelo CPAMN em Teresina). Em 2016, ocorreu aumento substancial, quando foram emitidos 240 Mg CO₂e (87 Mg CO₂e pela UEP-Parnaíba e 153 Mg CO₂e pelo CPAMN em Teresina). Já em 2017, foi mantido um número próximo de emissão com 237 Mg CO₂e (66 Mg CO₂e pela UEP-Parnaíba e 171 Mg CO₂e pelo CPAMN em Teresina) e leve diminuição em 2018 com 231 Mg CO₂e (70 Mg CO₂e pela UEP-Parnaíba e 161 Mg CO₂e pelo CPAMN em Teresina), diminuindo ainda mais para 195 Mg CO₂e em 2019 (80 Mg CO₂e pela UEP-Parnaíba e 115 Mg CO₂e pelo CPAMN em Teresina). Em 2020, essa queda foi bem intensa com 61 Mg CO₂e (10 Mg CO₂e pela UEP-Parnaíba e 51 Mg

CO₂e pelo CPAMN em Teresina), mas voltando a apresentar breve aumento em 2021 com 79 Mg CO₂e (13 Mg CO₂e pela UEP-Parnaíba e 66 Mg CO₂e pelo CPAMN em Teresina), aumentando ainda mais para 128 Mg CO₂e (29 Mg CO₂e pela UEP-Parnaíba e 99 Mg CO₂e pelo CPAMN em Teresina) em 2022 (Figura 5).

Eventos climáticos extremos

Em anos com influência do fenômeno El Niño, vem ocorrendo intensa diminuição das chuvas e também atraso na chegada desse período, trazendo menor disponibilidade de água para o abastecimento da população, dificultando ainda mais a vida da população no Semiárido nordestino (Ferreira; Kemenes, 2023). A variabilidade interanual de temperatura da superfície do mar (TSM) nas áreas dos oceanos Pacífico Equatorial e Atlântico Tropical está associada à formação de fenômenos como o El Niño e La Niña e às anomalias de temperatura superficial do Oceano Atlântico Tropical Norte (TNAI) e do Atlântico Tropical Sul (TSAI). Todos esses eventos exercem influências sobre o clima do Semiárido (Uvo et al., 2000; Ferreira; Kemenes, 2023). Mecanismos de circulação atmosférica vêm sendo afetados pelas anomalias de TSM, como o posicionamento latitudinal da zona de convergência intertropical (ZCIT), que dirige a intensidade e distribuição dos principais parâmetros climáticos e ambientais da região Nordeste do Brasil (Kayano et al., 2011, 2013; Ferreira; Kemenes, 2023). Tudo isso vem interferindo no consumo de energia elétrica e nos gastos de combustíveis (Tabela 3).

Todas as localidades de origem do El Niño mostraram correlações significativas no consumo de energia elétrica e nos gastos de combustíveis fósseis realizados pela Embrapa Meio-Norte (Tabela 3) nos anos em estudo, ou seja, a elevação da temperatura do Oceano Pacífico trouxe diminuição da incidência das chuvas (Ferreira; Kemenes, 2023), que vem sendo diretamente correlacionada ao aumento dos gastos com energia elétrica da Embrapa Meio-Norte (Figura 6). Esse resultado é esperado, pois nos meses chuvosos as motobombas de água são mais utilizadas para atender a intensa necessidade da irrigação. Tam-

bém, a necessidade de encher os reservatórios é bem mais frequente. Os condicionadores de ar dos escritórios são mais utilizados em tempo e intensidade. Também é uma realidade que, nos períodos de seca, o fator energético vem mostrando valores bem mais elevados que, nos períodos chuvosos, devido aos elevados custos de operação, associados ao tipo de usina energética utilizada. A energia hidrelétrica é o principal componente energético da matriz energética nacional. Entretanto, diversas hidrelétricas deixam de funcionar, ou funcionam com baixa potência, durante anos de eventos de El Niño forte, principalmente nas regiões Nordeste e Amazônica, que são as regiões mais afetadas. Como a matriz energética é nacionalmente interligada, todas as regiões são afetadas no valor da tarifa na conta dos consumidores.

As correlações entre os gastos de combustíveis também foram diretas, isto é, aumentaram com o aumento da intensidade das anomalias climáticas dos eventos extremos (Figura 7). Esse resultado, é mais difícil de explicar, mas, provavelmente, está ligado ao aumento de temperatura. Na ocorrência dos eventos climáticos extremos, o aumento da temperatura ambiente pode levar a maior esforço no funcionamento dos motores a combustão, ou seja à necessidade de acelerar mais o motor para realizar um mesmo trabalho numa temperatura mais baixa. Além disso, o ar condicionado dos veículos é mais utilizado nos dias mais quentes. Também, pequenos deslocamentos que, em períodos mais amenos, poderiam ser realizados a pé, são feitos em motocicletas ou carros. Os gastos da Unidade vêm sendo significativamente influenciados por fatores externos, como o fenômeno El Niño. Numa análise mais detalhada, o melhor valor de correlação foi encontrado para o Niño 1+2 e 3, localidades de origem do El Niño no Oceano Pacífico mais próximas ao Nordeste do Brasil. Já, nos anos de 2017 e 2021, os índices de correlação mostraram correlações positivas, apresentando a incidência do fenômeno La Niña. Durante os anos em estudo, as anomalias de temperatura dos oceanos Atlântico Norte e Sul (TNAI e TSAI) não mostraram influências significativas sobre os gastos com energia elétrica e combustíveis na Embrapa Meio-Norte (Tabela 3).

Tabela 3. Matrix de correlação de Pearson mostrando a influência das anomalias de temperatura da superfície do mar sobre o consumo de energia elétrica e gastos de combustíveis realizados pela Embrapa Meio-Norte de 2015 a 2022.

	Niño 1+2	Niño 3	Niño 4	Niño 3.4	TNAI	TSAI
Energia elétrica	0,43*	0,42*	0,40*	0,40*	0,04	-0,15
Combustíveis	0,48*	0,49*	0,42*	0,47*	-0,20	-0,18

*Em negrito e vermelho as correlações significativas.

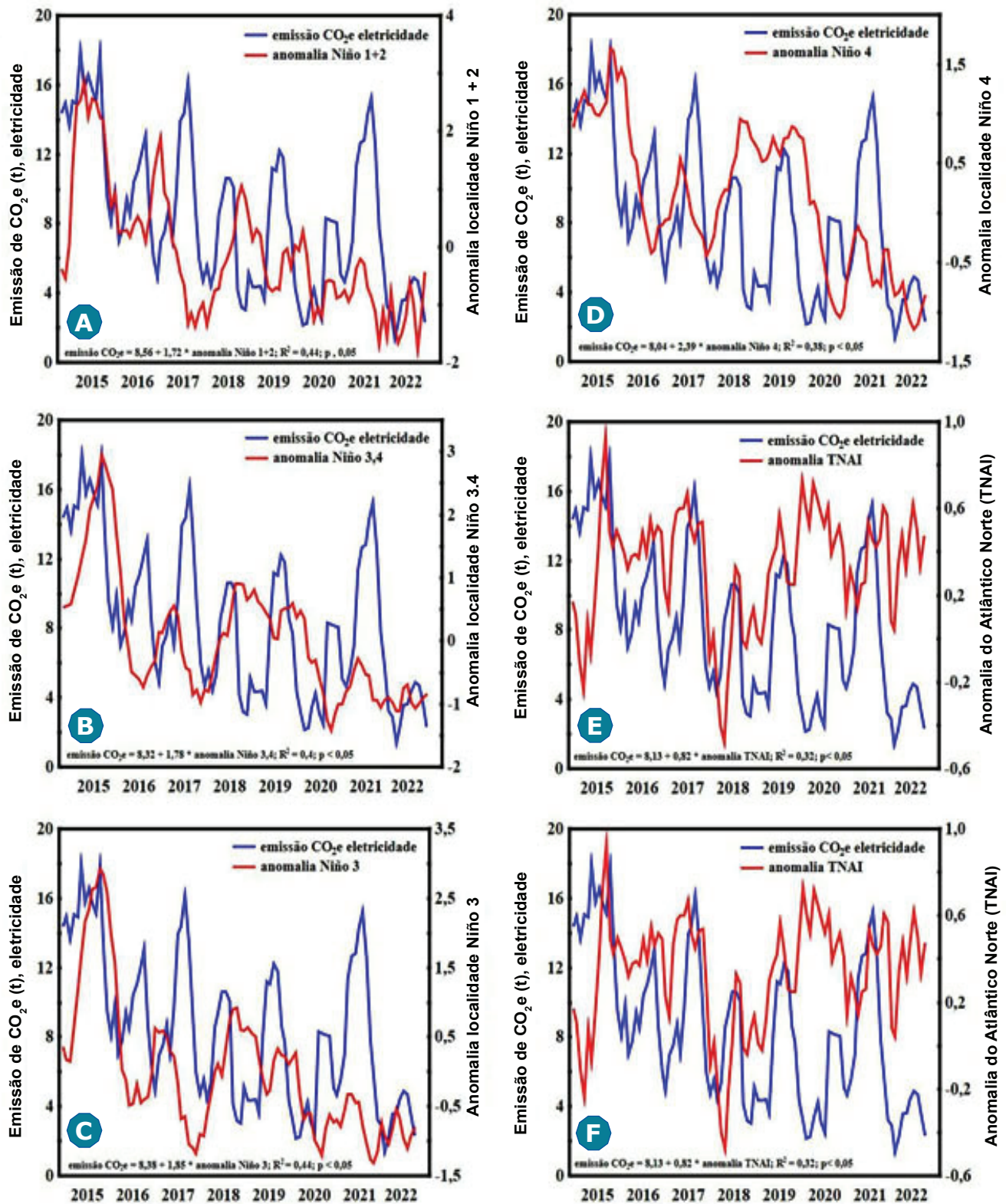


Figura 6. Relação entre as anomalias de TSM e o consumo de energia elétrica pela Embrapa Meio-Norte.

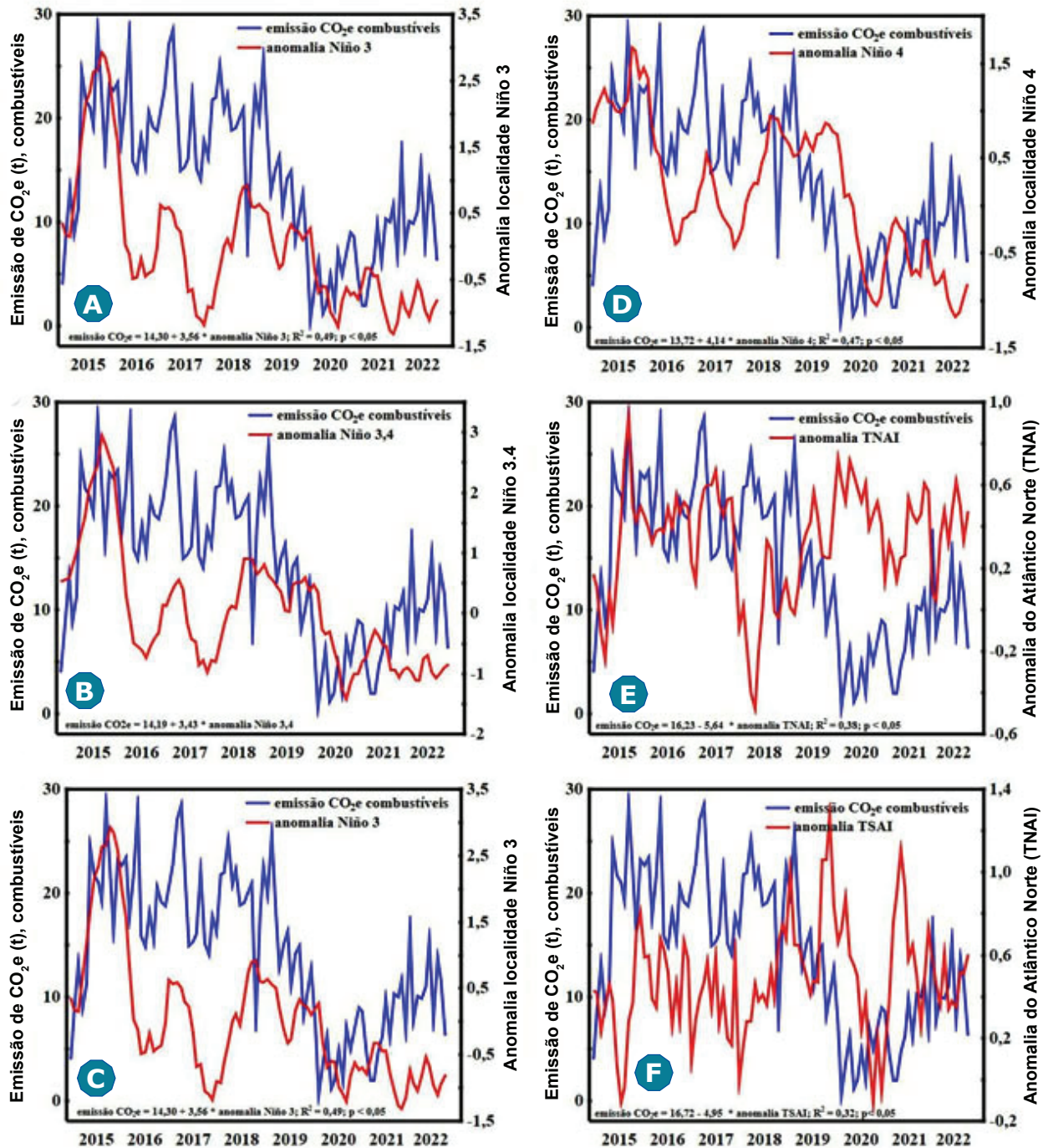


Figura 7. Relação entre as anomalias de TSM e os gastos de combustíveis da Embrapa Meio-Norte.

Neutralização compensatória

A melhor forma de neutralizar o carbono emitido pela Embrapa Meio-Norte é com o plantio de árvores, quando o carbono é retirado da atmosfera e sequestrado por meio de biomassa vegetal. Entretanto, para que sejam consideradas sequestradoras de carbono atmosférico efetivas, as árvores plantadas devem permanecer em crescimento por um longo período. Nas calculadoras de emissão de GEEs, hoje existentes na internet, há grande variação do número de árvores necessário

para sequestrar uma tonelada de carbono emitido. Neste documento, foi utilizada uma média da quantidade encontrada nas calculadoras mais econômicas, como Iniciativa Verde e SOS Mata Atlântica. Para a neutralização das emissões da Embrapa Meio-Norte, será necessário o plantio de sete árvores por tonelada de carbono emitido, que devem permanecer vivas por um período mínimo de 20 anos. Com base nisso, fica determinado que a quantidade total de árvores necessária, para que sejam plantadas e neutralizadas as emissões

de GEEs da Embrapa Meio-Norte, entre 2015 e 2022, por gastos em energia são: a) total: cerca de 15 mil unidades (cerca de 5 mil árvores pela UEP-Parnaíba e 10 mil pelo CPAMN em Teresina); b) energia elétrica: cerca de 5 mil unidades (1.500 árvores pela UEP-Parnaíba e 3.500 árvores pelo CPAMN em Teresina); e c) combustíveis fósseis: cerca de 10 mil unidades (3.500 árvores pela UEP-Parnaíba e 6.500 árvores pelo CPAMN em Teresina) (**Figura 8**).

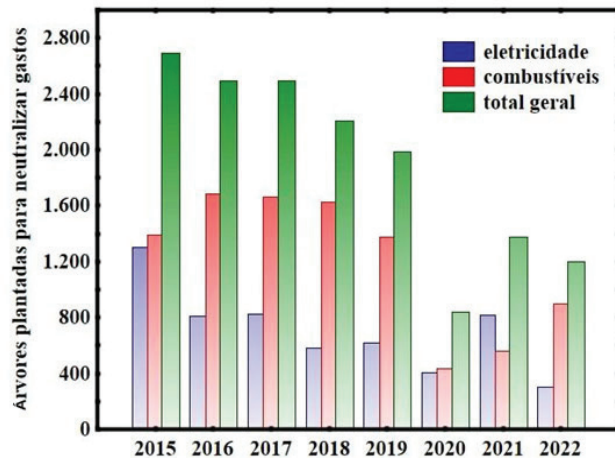


Figura 8. Neutralização das emissões de GEEs pelo plantio de árvores em áreas degradadas pela Embrapa Meio-Norte.

As árvores, quando derrubadas, não devem ter sua madeira queimada ou se decompor como substrato do solo, pois resultaria em emissões significativas de GEEs para a atmosfera, ou seja, deve ser convertida a materiais duráveis, como telhados, pisos, móveis e outros, realizando um sequestro efetivo e duradouro do carbono.

Conclusões

1. O planeta passa por diversas transformações, a população vem aumentando, consumindo cada vez mais e exaurindo os recursos naturais de um planeta finito. O desenvolvimento atual da humanidade se apoia, quase que exclusivamente, em práticas insustentáveis para a geração de energia elétrica e no uso de combustíveis, para movimentar cargas e pessoas. Todos nós consumimos energia e, por isso, somos responsáveis pelos impactos ambientais sobre nosso planeta. A derrubada de árvores não só elimina uma floresta, mas também contribui para intensificar o processo de mudanças globais. A perda das árvores reduz

a evapotranspiração, causando redução das chuvas. A diminuição da cobertura do solo traz menos infiltração de água no solo para o lençol freático e aumenta o assoreamento dos rios.

2. A Embrapa Meio-Norte, como toda empresa pública ou privada, tem grande parcela de responsabilidade pelo montante significativo de emissões de gases de efeito estufa para a atmosfera. Sendo assim, precisa realizar atividades que mitiguem e até neutralizem as emissões, entretanto isso ainda não vêm sendo realizado de forma efetiva. O estudo dos efeitos locais dos eventos climáticos extremos pode nos oferecer a previsibilidade das ocorrências dos fenômenos climáticos e ser utilizado para organizar uma agenda de trabalho em busca da diminuição dos riscos climáticos, economia de recursos e planejamento de ações. A determinação dos períodos mais adequados ao plantio de árvores, a instalação de sistemas produtivos, a realização de práticas para manutenção dos equipamentos e a educação ambiental dos empregados pode trazer melhorias no balanço social e mitigação nas emissões de gases de efeito estufa pela Empresa. Nossa Empresa é um grande espelho para as empresas públicas e privadas, mas também para o público em geral, na região Nordeste do Brasil. O domínio do homem sobre o meio ambiente é possível, mas somente por meio de uma fina compreensão da influência da força da natureza sobre os sistemas de produção.

Agradecimentos

À Embrapa Meio-Norte pelo apoio no desenvolvimento destes estudos, e aos colegas integrantes do Comitê Logístico Sustentável (CLS), principalmente ao amigo técnico Pedro Pereira Neves, reconhecendo sua intensa contribuição na busca do desenvolvimento sustentável para a Unidade e no auxílio para a realização deste documento.

Referências

AGENDA 2030 para o desenvolvimento sustentável. Brasília, DF: Nações Unidas Brasil, 2015. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/91863-agenda-2030-para-o-desenvolvimento-sustent%C3%A1vel>. Acesso em: 13 maio 2022.

ALVES, J. M. B. Sobre o sinal de um downscaling dinâmico às oscilações intrassazonais de precipitação no setor norte do Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 27, n. 2, p. 219-228, jul. 2017.

ANDRADE JÚNIOR, A. S. de; BASTOS, E. A.; BARROS, A. H. C.; SILVA, C. O. da; GOMES, A.A. N. Classificação climática e regionalização do semi-árido do Estado do Piauí sob cenários pluviométricos distintos. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 36, n. 2, p. 143-151, maio/ago. 2005.

BRASIL. Ministério da Ciência e Tecnologia. Coordenação-Geral de Mudanças Globais de Clima. **Comunicação nacional inicial do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima**. Brasília, DF, 2004. 274 p.

BRASIL. Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovação. Coordenação-Geral de Mudanças Globais de Clima. **Segunda comunicação nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças do Clima**. Brasília, DF, 2010. 280 p. Disponível em: http://www.mct.gov.br/upd_blob/0213/213909.pdf. Acesso em: 13 maio 2012.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Agenda 21**: Ata da décima nona reunião - 2ª parte. Brasília, DF, 2001. Disponível em: <https://antigo.mma.gov.br/responsabilidade-socioambiental/agenda-21/agenda-21-global/itemlist/category/107-agenda-21.html>. Acesso em: 13 maio 2022.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Plano de logística sustentável do Ministério do Meio Ambiente e do Serviço Florestal Brasileiro (PLS-MMA)**. Brasília, DF, 2013. 113 p. Disponível em: <https://antigo.mma.gov.br/images/arquivo/80063/PLS/PLS%20MMA%20%20Versao%20Final%202021-05-13.pdf>. Acesso em: 13 maio 2022.

CARVALHO, C. H. R. de. **Emissões relativas de poluentes do transporte motorizado de passageiros nos grandes centros urbanos brasileiros**. Brasília, DF: Ipea, 2011. 39 p. (Ipea. Texto para discussão, 1606). Disponível em: <https://www.econstor.eu/bitstream/10419/91332/1/664398472.pdf>. Acesso em: 25 set. 2024.

CLIMATE indices: monthly atmospheric and ocean time series. Boulder: National Ocean and Atmospheric Administration. Physical Sciences Laboratory. Disponível em: <https://psl.noaa.gov/data/climateindices/list/>. Acesso em: 22 jan. 2022.

EGGLESTON, H. S.; BUENDIA, L.; MIWA, K.; NGARA, T.; TANABE, K. (ed.). INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories**: General Guidance and Reporting. Hayama: Iges, 2006. v. 1. Disponível em: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol1.html>. Acesso em: 2 mar. 2011.

FERREIRA, L. G. C.; KEMENES, A. A influência dos eventos climáticos extremos na climatologia da planície litorânea piauiense. **Revista Brasileira de Climatolo-**

gia, v. 32, p. 634-657, jan./jun. 2023. DOI: <https://doi.org/10.55761/abclima.v32i19.16349>.

GALBALLY, I. E. Good practice guidance and uncertainty management in national greenhouse gas inventories: recent developments. In: INTERNATIONAL CLEAN AIR AND ENVIRONMENT CONFERENCE, 15., 2000, Sydney. **Proceedings...** Mitcham: Clean Air Society of Australia and New Zealand, 2002. 5 p.

HOUGHTON, J. T.; MEIRA FILHO, L. G.; LIM, B.; TREANTON, K.; MAMATY, I.; BONDUKI, Y.; GRIGGS, D. J.; CALLENDER, B. A. (ed.). **Revised 1996 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories**: reference manual. United Kingdom: IPCC, 1996. v. 3.

KAYANO, M. T.; ANDREOLI, R. V.; SOUZA, R. A. F. de. Evolving anomalous SST patterns leading to ENSO extremes: relations between the tropical Pacific and Atlantic Oceans and the influence on the South American rainfall. **International Journal of Climatology**, v. 31, n. 8, p. 1119-1134, 2011.

KAYANO, M. T.; ANDREOLI, R. V.; SOUZA, R. A. F. de. Relations between ENSO and South Atlantic SST modes and their effects on the South American rainfall. **International Journal of Climatology**, v. 33, n. 8, p. 2008-2023, 2013.

KEMENES, A.; FORSBERG, B. R.; MELACK, J. M. Methane release below a tropical hydroelectric dam. **Geophysical Research Letters**, v. 34, n. 12, L12809, 2007. DOI: 10.1029/2007GL029479.

KEMENES, A.; OLIVEIRA, J. A. de; OLIVEIRA JUNIOR, J. O. L. de. **Governança e sustentabilidade ambiental**: Embrapa Meio-Norte, 2016 - 2021. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2023. 52 p. (Embrapa Meio-Norte. Documentos, 289).

KEMENES, A.; SANTOS, C. A. C. dos; SATYAMURTY, P. A. Influência de eventos climáticos extremos na atividade de hidrelétricas Amazônicas. **Ciência Hoje**, v. 50, p. 36-41, 2012.

PACHAURI, R. K.; MEYER, L. A. (ed.). **Climate change 2014**: synthesis report. Contribution of working groups I, II and III to the fifth assessment report of the IPCC. Geneva: IPCC, 2014. 151 p.

PENMAN, J.; GYTARSKY, M.; HIRAISHI, T.; KRUG, T.; KRUGER, D.; PIPATTI, R.; BUENDIA, L.; MIWA, K.; NGARA, T.; TANABE, K.; WAGNER, F. (ed.). **Good practice guidance for land use, land-use change and forestry**. Hayama: IPCC, 2003. 593 p.

SNEATH, P. H. A.; SOKAL, R. R. **Numerical taxonomy**: the principles and practice of numerical classification. San Francisco: W. H. Freeman, 1973. 573 p.

SOARES, L. H. de B.; ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M. **Mitigação das emissões de gases efeito estufa pelo uso de etanol da cana-de-açúcar produzido no Brasil**. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2009. 14 p. (Embrapa Agrobiologia. Circular técnica, 27).

SOLOMON, S.; QIN, D.; MANNING, M.; MARQUIS, M.; AVERYT, K.; TIGNOR, M. M. B.; MILLER JUNIOR, H. L.; CHEN, Z. **Climate change 2007**: the physical science basis. Cambridge: IPCC, 2007. 996 p.

STOCKER, T. F.; QIN, D.; PLATTNER, G. K.; TIGNOR, M.; ALLEN, S. K.; BOSCHUNG, J.; NAUELS, A.; XIA, Y.; BEX, V.; MIDGLEY, P. M. (ed.). **Climate change 2013**: The physical science basis. Contribution of working group I to the fifth assessment report of the Intergovernmental panel on climate change. Cambridge: Cambridge University Press, 2013.

THORNTHWAITE, C. W. An approach toward a rational classification of climate. **Geographical Review**, v. 38, n. 1, p. 55-94, 1948.

UVO, C. B.; TÖLLE, U.; BERNDTSSON, R. Forecasting discharge in Amazonia using artificial neural networks. **International Journal of Climatology**, v. 20, n. 12, p. 1495-1507, 2000.