



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS DO SOLO
CURSO DE GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

MATHEUS DE MOURA SILVA

AVALIAÇÃO DA RESPIRAÇÃO BASAL DO SOLO DE UM AGROECOSSISTEMA
URBANO BIODIVERSO

FORTALEZA

2026

MATHEUS DE MOURA SILVA

AVALIAÇÃO DA RESPIRAÇÃO BASAL DO SOLO DE UM AGROECOSSISTEMA
URBANO BIODIVERSO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Agronomia da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Engenheiro Agrônomo.

Orientador: Prof. Dr. Arthur Prudêncio de Araújo Pereira.

Fortaleza

2026

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

M888a Moura Silva, Matheus de.
Avaliação da respiração basal do solo de um agroecossistema urbano biodiverso / Matheus de Moura Silva. – 2026.
49 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Curso de Agronomia, Fortaleza, 2026.
Orientação: Prof. Dr. Arthur Prudêncio de Araújo Pereira.

1. Sustentabilidade. 2. Ciclo do carbono. 3. Indicadores biológicos. I. Título.

CDD 630

MATHEUS DE MOURA SILVA

AVALIAÇÃO DA RESPIRAÇÃO BASAL DO SOLO DE UM AGROECOSSISTEMA
URBANO BIODIVERSO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Curso de Graduação em Agronomia da
Universidade Federal do Ceará, como requisito
parcial à obtenção do título de Engenheiro
Agrônomo.

Aprovada em: 21/01/2026.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Arthur Prudêncio de Araújo Pereira (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Dr. Kaio Gráculo Vieira Garcia
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Maria Vitória Ricarte Gonçalves
Doutoranda - Programa de Pós-Graduação em Ciências do Solo (UFC)

A Deus e a sincronicidade.

A todos que contribuíram com este trabalho,
em especial a minha avó Maria.

AGRADECIMENTOS

Inicialmente, agradeço a Deus, a natureza e aos caminhos, pela oportunidade de ter acesso ao conhecimento que emancipa a vida.

À minha família, que me gerou e me educou com esforço e empenho, em especial a minha avó Maria, pelo acolhimento em todas as etapas.

A todos os professores que fizeram parte da minha trajetória educacional até aqui. O ofício do ensino transforma e revoluciona a sociedade.

Aos professores do curso de Agronomia, em cada etapa os variados métodos me incentivaram a adaptação e desde o início contribuíram com o meu entendimento nas ciências agrárias.

Um agradecimento especial aos Professores: Arthur Prudêncio de Araújo Pereira, orientador da monitoria em Biologia do Solo, do estágio supervisionado e deste trabalho; Márcio Cleber de Medeiros Côrrea (*in memoriam*); Paulo Furtado Mendes Filho; Cândida Hermínia Campos de Magalhães Bertini; Maria Lúcia de Sousa Moreira; Renata Fernandes de Matos e Vitor Hugo Miro Couto Silva, onde os conteúdos ministrados marcaram a minha formação acadêmica, ao ampliar a minha visão.

Ao Grupo de Estudos e Práticas em Permacultura da UFC – GEPPE, que desde o início do curso se apresentou como um laboratório de atividades e oficinas agroecológicas.

Ao Grupo Agroecológico da UFC, pelo acolhimento ao longo do curso, pelos grupos de estudos, pelos debates acadêmicos e pela reflexão agroecológica, onde fiz amizades marcantes e avancei no conhecimento de práticas agrícolas sustentáveis.

Ao todos os meus colegas de curso que compartilharam o conhecimento, em especial aos meus amigos Vitor Fernandes, Rafael Motta, Lucas Lopes e Felipe Matias.

Ao Laboratório de Microbiologia do Solo da UFC, pela oportunidade de aprender e praticar as atividades relacionadas à Biologia do Solo, sempre com atenção e direcionamento correto, sob a supervisão do Dr. Kaio Gráculo Vieira Garcia.

Ao ECOINEC, pela proposição de um espaço educativo e que permitiu a elaboração deste trabalho, com visão ecológica e com a intenção de promover benefícios as pessoas e de melhorar o ambiente urbano.

Então, um agradecimento à força de vontade e ao empenho em todas as atividades do curso. Foram longas caminhadas diárias, com esforço e dedicação. Cada passo foi uma semente de prosperidade.

“É necessário olhar para frente da colheita,
não importa o quão distante isso seja, quando
uma fruta for colhida, algo bom aconteceu”
(Charles Darwin)

RESUMO

Os agroecossistemas são caracterizados pela gestão sustentável de insumos para a produção de alimentos, gerando recursos a serem utilizados ou transformados pela própria capacidade de direcionamento energético e distribuição de cada material trabalhado. A diversidade de espécies vegetais que estão presentes no sistema contribui com a ampliação de funções exercidas por cada uma delas e, conseqüentemente, a sua aplicabilidade. Para avaliação da saúde do solo e da atividade microbiana, as análises biológicas se apresentam como métodos quantitativos e qualitativos importantes, como a Respirimetria Basal do Solo (RBS) pelo método da titulometria. O método avalia a oxidação da matéria orgânica do solo pela microbiota edáfica e quantifica a produção de C-CO₂ por unidade de massa de solo por um período determinado. Nesse âmbito, uma avaliação respirométrica foi realizada no solo de um agroecossistema urbano biodiverso no município de Fortaleza/CE, onde foram coletadas amostras compostas em quatro tratamentos representativos de setores do sistema para efeito comparativo dos resultados. Os tratamentos são: Controle, uma área sem atividade agrícola; Barreira, linha com o cultivo de capim-elefante (*Pennisetum purpureum*); Pomar, composto por linhas de árvores frutíferas e Horta, composto por linhas de árvores e hortaliças. A amostragem de solo foi feita a partir da coleta de 15 amostras simples, na profundidade de 0-20 cm, para a composição de 4 amostras compostas de cada tratamento, utilizando um trado holandês e uma peneira de 2 mm. A atividade biológica do solo foi avaliada por meio da Respiração Basal do Solo (RBS), pelo método da titulometria, determinada a partir da incubação de amostras de solo em sistema fechado, com quantificação do CO₂ liberado ao longo do período experimental de 7 dias. Os resultados foram expressos em mg C-CO₂ g⁻¹ solo dia⁻¹. Foi realizado o teste estatístico de análise de variância e teste de Tukey a 5% de probabilidade. Os resultados encontrados apontaram diferenças significativas quantitativas em níveis de CO₂ produzidos pela respiração microbiana entre os tratamentos. O tratamento Barreira apresentou maior média e diferença significativa ao teste estatístico em relação a todos os tratamentos, com o valor de 0,1040 mg C-CO₂ g solo⁻¹.dia⁻¹. Enquanto os tratamentos Controle e Pomar não apresentaram diferença significativa, com taxas de 0,0500 mg C-CO₂ g solo⁻¹ dia⁻¹ e 0,0511 mg C-CO₂ g solo⁻¹ dia⁻¹, respectivamente. O tratamento Horta apresentou a segunda maior média com o valor de 0,0751 mg C-CO₂ g solo⁻¹ dia⁻¹.

Palavras-chave: Sustentabilidade; Ciclo do carbono; Indicadores biológicos.

ABSTRACT

Agroecosystems are characterized by the sustainable management of inputs for food production, generating resources that are used or transformed by the system's own capacity for energy direction and distribution of each working material. The diversity of plant species present in the system contributes to the expansion of functions performed by each of them and, consequently, their applicability. For assessing soil health and microbial activity, biological analyses present themselves as important quantitative and qualitative methods, such as Basal Soil Respirometry (BSR) using the titrimetry method. The method evaluates the oxidation of soil organic matter by soil microbiota and quantifies the production of C-CO₂ per unit of mass of soil over a given period. In this context, a respirometric evaluation was carried out on the soil of a biodiverse urban agroecosystem in Fortaleza/CE, where composite samples were collected from four treatments representative of sectors of the system for comparative purposes of microbiological activity. The treatments are: Control, an area without agricultural activity; Barrier, a line with elephant grass (*Pennisetum purpureum*) cultivation; Orchard, composed of rows of fruit trees; and Vegetable garden, composed of rows of trees and vegetables. Soil sampling was performed by collecting 15 individual samples at a depth of 0-20 cm, to create 4 composite samples for each treatment, using a Dutch auger and a 2 mm sieve. Soil biological activity was assessed using Basal Soil Respiration (BSR), by the titrimetric method, determined from the incubation of soil samples in a closed system, with quantification of CO₂ released over the 7-day experimental period. The results were expressed in mg C-CO₂ g soil⁻¹ day⁻¹. The analysis of variance and Tukey's test at 5% probability was performed. The results showed significant differences in CO₂ levels produced by microbial respiration between treatments. The Barrier treatment showed the highest average and a significant difference in the statistical test compared to all treatments, with a value of 0.1040 mg C-CO₂ g soil⁻¹day⁻¹. The Control and Orchard treatments did not show a significant difference, with rates of 0.0500 mg C-CO₂ g soil⁻¹day⁻¹ and 0.0511 mg C-CO₂ g soil⁻¹day⁻¹, respectively. The Vegetable Garden treatment showed the second highest average with a value of 0.0751 mg C-CO₂ g soil⁻¹day⁻¹.

Keywords: Sustainability; Carbon cycle; Biological indicators.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Imagem aérea da produção agrícola do agroecossistema urbano ECOINEC no município de Fortaleza/CE	27
Figura 2	Solo preparado utilizando biomassa triturada de poda urbana para cobertura de solo. Canteiros desenhados para a fundação da horta em formato de mandala	28
Figura 3	Canteiro projetado em leira	28
Figura 4	Área do tratamento Barreira	30
Figura 5	Linhas e entrelinhas dos canteiros da horta	31
Figura 6	Representação ilustrativa dos pontos de coleta das amostras simples nos tratamentos: Controle (A); Barreira (B); Horta (C); Pomar (D)	33
Figura 7	Parte das amostras compostas do solo dos tratamentos: Controle (A), Barreira (B); Pomar (C); Horta (D)	34
Figura 8	Pesagem de 100g, em balança de precisão, das amostras compostas dos tratamentos: Controle (A); Barreira (B); Pomar (C); Horta (D)	35
Figura 9	Disposição dos frascos de vidro em repetições alinhadas por tratamentos. Branco: Teste em branco; Amarelo: Controle; Azul: Barreira; Laranja: Pomar; Verde: Horta	36
Figura 10	Aliquota de 10ml de NaOH após a estabilização e a indicação de pH com fenolftaleína (A); Amostra titulada até o ponto de viragem, indicando a reação de neutralização e o volume de HCl gasto para o cálculo do teor de dióxido de carbono (CO ₂) capturado (B)	37

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Tratamentos e as suas respectivas dimensões e áreas	29
Tabela 2 - Quantidade de solo coletado em cada tratamento	32
Tabela 3 - Culturas - Barreira - (2023 – 2025)	46
Tabela 4 - Barreira - Manejo e serviços - (2023-2025)	46
Tabela 5 - Culturas - Pomar - (2023)	47
Tabela 6 - Culturas – Pomar - (2023-2025)	47
Tabela 7 - Pomar - Manejo e serviços – (2023-2025)	48
Tabela 8 - Horta - Culturas das linhas de árvores - (2023-2025)	49
Tabela 9 - Horta - Culturas das linhas de hortaliças - (2023-2025)	50
Tabela 10 - Horta - Manejo e serviço - (2023-2025)	51

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1	Valores médios de dióxido de carbono (CO ₂) respirado em 24 horas durante o período de 7 dias	38
Gráfico 2	Respiração acumulada durante o período de 7 dias	39
Gráfico 3	Média da respiração diária dos tratamentos durante o período de 7 dias	40

1	INTRODUÇÃO	14
2	HIPÓTESE	16
3	OBJETIVOS	17
3.1	Objetivos gerais	17
3.2	Objetivos específicos	17
4	REFERENCIAL TEÓRICO	18
4.1	Ciclo do carbono no solo	18
4.1.1	<i>O carbono no sistema solo-planta-atmosfera</i>	18
4.1.2	<i>Microrganismos e a oxidação da matéria orgânica do solo</i>	19
4.1.3	<i>Respiração da microbiota edáfica</i>	19
4.2	Agroecossistemas: Contextualização	20
4.2.1	<i>O carbono em agroecossistemas: Biodiversidade e clima</i>	21
4.3	Serviços ecossistêmicos	24
4.4	Análises biológicas – Respirimetria basal do solo (RBS)	25
5	METODOLOGIA	26
5.1	Área de estudo	26
5.1.1	<i>Agroecossistema urbano: ECOINEC</i>	26
5.2	Tratamentos	29
5.2.1	<i>Controle</i>	29
5.2.2	<i>Barreira</i>	30
5.2.3	<i>Pomar</i>	30
5.2.4	<i>Horta</i>	31
5.3	Amostragem do solo	32
5.4	Respirometria Basal do Solo – Titulometria	34
5.5	Teste estatístico	39
6	RESULTADOS E DISCUSSÃO	40
7	CONCLUSÃO	42
	REFERÊNCIAS	43
	APÊNDICE A – TABELAS DE CULTURAS DOS TRATAMENTOS	46

1 INTRODUÇÃO

A agricultura moderna acompanha o desenvolvimento tecnológico, adaptando instrumentos, mecanismos e áreas de implantação de lavouras. Porém, com o avanço das mudanças climáticas, os setores da indústria primária, ou seja, relacionados à produção e extração de matérias-primas da natureza, estão sendo alertados por organizações especializadas no tema a adaptarem as suas cadeias produtivas em todo o planeta. Conforme Morandi *et al.* (2024), esse desafio surge em meio aos debates e às pressões sociais por um novo modelo de desenvolvimento, que seja capaz de conciliar crescimento econômico e conservação do meio ambiente, aumentando a resiliência dos sistemas produtivos e reduzindo as emissões de gases de efeito estufa (GEE).

Uma vez que as mudanças climáticas estão diretamente relacionadas à diminuição de áreas verdes pela atividade antrópica e pela emissão de gases de efeito estufa, essas adaptações passam tanto pelo acesso as alternativas de uso de combustíveis e energia quanto pelo planejamento de sistemas alimentares sustentáveis, buscando o desenvolvimento de estratégias que reduzam a poluição ambiental e, conseqüentemente, preservem os ciclos ecológicos do meio ambiente. De acordo com Nobre & Oliveira (2018), a vulnerabilidade dos sistemas agrícolas está diretamente ligada às estratégias de adaptação ou mitigação a ser implementadas em curto, médio e longo prazo.

Nessa discussão, após fóruns e conferências climáticas, no século XXI surge o conceito de Agricultura de Baixa Emissão de Carbono (ABC) com objetivo de aperfeiçoar e integrar as técnicas agrícolas para reduzir as emissões de gases e aumentar o sequestro de carbono. Essas técnicas agrícolas de uso da terra e manejo do solo são estudadas pelas ciências agrárias, que desenvolvem pesquisa e contribuem com o avanço das estratégias. Então, surge a importância das análises de solo para a compreensão de perfis em áreas cultiváveis e levantamento de dados que auxiliam na tomada de decisões relacionadas à gestão agrônômica. As ações para mitigação dos efeitos adversos das mudanças climáticas fazem uso de dois mecanismos complementares: a redução das emissões propriamente dita e o sequestro de carbono no solo e na massa vegetal. (Magalhães; Lima, 2014)

Especificamente, as análises biológicas do solo têm o potencial de evidenciar dados e avaliar resultados sobre os níveis de carbono e as suas interações com a microbiota edáfica. As informações são importantes por apresentarem características que são relacionadas ao manejo do solo e aos métodos de cultivo agrícola do sistema. Uma das análises biológicas é a

Respirometria Basal do Solo (RBS) pelo método da Titulometria. A prática é referenciada no método de Isermeyer (1952) e consiste na estimativa do CO₂ liberado durante a incubação do solo em um sistema fechado. O CO₂ é retido em uma solução de NaOH, que é então titulada com HCl (Alef; Nannipieri 1995).

O dióxido de carbono (CO₂) é um dos produtos da respiração aeróbica e a sua quantificação pelo método citado é o objeto de estudo. Portanto, para o desenvolvimento da análise biológica é fundamental a compreensão do ciclo biogeoquímico do carbono. A respiração representa a oxidação da matéria orgânica por organismos aeróbios que, portanto, utilizam O₂ como acceptor final de elétrons, resultando na liberação de CO₂ (Moreira; Siqueira, 2006).

O sistema solo-planta-atmosfera está relacionado com o ciclo do carbono em relação às interações entre os seres vivos e solo na biosfera. Essas relações ecológicas são também abordadas pelo estudo da Agroecologia como disciplina científica, que apresenta o estudo dos agroecossistemas como modelo sustentável de produção de alimentos. A produção sustentável em um agroecossistema deriva do equilíbrio entre plantas, solos, nutrientes, luz solar, umidade e outros organismos coexistentes. O agroecossistema é produtivo e saudável quando essas condições de crescimento ricas e equilibradas prevalecem, e quando as plantas permanecem resilientes de modo a tolerar estresses e adversidades (Altieri, 2004).

Nesse contexto, uma avaliação da respiração basal do solo de um sistema agrícola com base agroecológica no município de Fortaleza/CE, foi realizada com o objetivo de analisar a atividade microbiana do solo em um agroecossistema urbano, e como bioindicador da qualidade do solo.

2. HIPÓTESE

O tratamento Barreira, composto por uma linha de 60m² de capim-elefante (*Pennisetum purpureum*), poderá apresentar a maior média de respiração diária em relação aos outros tratamentos, devido ao aporte de biomassa ao solo e à exsudação radicular da cultura.

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivos gerais

Avaliar a respiração basal do solo de um agroecossistema urbano biodiverso localizado no município de Fortaleza/CE.

3.2 Objetivos específicos

1. Quantificar a Respiração Basal do Solo (RBS) em quatro áreas com diferentes manejos e coberturas vegetais do agroecossistema urbano avaliado.
2. Comparar estatisticamente a atividade respiratória do solo entre os diferentes tratamentos.
3. Identificar qual sistema de manejo apresenta maior atividade microbiana, utilizando a RBS como bioindicador de qualidade do solo.

4 REFERENCIAL TEÓRICO

4.1 Ciclo do carbono no solo

O ciclo do carbono está relacionado com o solo de acordo com os processos físicos, químicos e biológicos que os seres vivos participam na superfície a partir de interações ecológicas com fatores abióticos (luz; temperatura; água). A energia e os elementos contidos nos materiais orgânicos são reciclados e liberados para manter o equilíbrio na atmosfera.

De acordo com Cardoso e Andreote (2016), a vida como nós a conhecemos está baseada numa estrutura de carbono, o elemento essencial e em maior abundância em toda estrutura celular. Por esse motivo este é o elemento de maior demanda para a formação de novas células e conseqüentemente mais abundantemente necessário para a nutrição de plantas, animais e microrganismos dos solos. O termo “ciclos biogeoquímicos” enfatiza os papéis interligados dos componentes bióticos e abióticos no fornecimento das moléculas necessárias para o crescimento e reprodução dos organismos vivos. Também enfatiza a importância dos solos e dos organismos do solo para impulsionar a disponibilidade de nutrientes (Paul, 2007).

4.1.1 O Carbono no sistema solo-planta-atmosfera

O carbono é um elemento químico essencial no sistema solo-planta-atmosfera por constituir moléculas orgânicas. Está diretamente relacionado à fotossíntese e à respiração celular, em processos de absorção e expiração de dióxido de carbono (CO_2) e na síntese de carboidratos. De grande importância é o conhecimento das leis e princípios que regem o movimento de gases no solo. As plantas e os organismos aeróbios exigem certos níveis de oxigênio na atmosfera do solo, consumindo oxigênio (O_2) e desenvolvendo dióxido de carbono (CO_2).

Pelo motivo de a planta receber este oxigênio, necessário à respiração, também por meio da raiz, é que a maioria das plantas necessitam de um solo suficientemente arejado. Quando um solo for bem agregado, existe um número suficiente de poros de ventilação para garantir a oxigenação da raiz. Quando, porém, o solo se tornar compacto, com a diminuição dos poros de ventilação, que sempre são os primeiros atingidos, o dióxido de carbono (CO_2) se acumula no solo e a raiz sofre seu efeito desfavorável (Primavesi, 2002).

4.1.2 Microrganismos e a oxidação da matéria orgânica do solo

A partir das variadas formas de entrada de carbono no solo a microbiota do solo garante os recursos para produção de energia. Conforme Cardoso e Andreote (2016) A maioria dos microrganismos utiliza a oxidação de lipídeos, proteínas e, principalmente, carboidratos como fonte primária de carbono e energia celular. Para produzir energia a partir de glicose os microrganismos utilizam vias metabólicas como: respiração aeróbia, respiração anaeróbia e fermentação.

A decomposição de resíduos incorporados ao solo naturalmente ou via manejo, se dá a partir do processo oxidativo. A oxidação aeróbica de CH_2O a CO_2 é uma importante fonte de energia para quimiorganotróficos. Em sua forma mais simples, esse processo é o inverso da reação geral da fotossíntese (Paul, 2007). Toda decomposição é uma sequência de oxidações e reduções de uma substância orgânica até água e gás carbônico (Primavesi, 2002).

Todo esse processo está relacionado ao metabolismo microbiano, em reações de quebra e síntese de moléculas. O metabolismo pode ser didaticamente dividido em duas classes de reações químicas: aquelas que liberam energia (reações catabólicas) e aquelas que requerem energia (reações anabólicas). As reações de anabolismo e catabolismo são acopladas, ou seja, as reações catabólicas fornecem os blocos construtivos para as reações anabólicas e a energia necessária para dirigi-las (Cardoso; Andreote, 2016). Para que ocorram as reações há também gasto energético. Esse acoplamento é possível pela molécula de trifosfato de adenosina (ATP), que funciona como a unidade armazenadora/geradora de energia para as realizações de trabalho biológico nas células (Cardoso; Andreote, 2016). Portanto, o metabolismo é um processo orgânico que evidencia a adaptação dos microrganismos ao meio ambiente. A longa história evolutiva dos microrganismos permitiu que eles desenvolvessem a maquinária necessária para reciclar quase todas as moléculas complexas construídas naturalmente nos blocos de construção necessários para a nutrição de organismos superiores (Paul, 2007).

4.1.3 Respiração da microbiota edáfica

O processo fisiológico dos microrganismos que atua na decomposição da matéria orgânica é a respiração celular.

A respiração aeróbia é a forma de metabolismo presente na maioria dos microrganismos do solo, de grande importância para o processo de decomposição da matéria orgânica (Cardoso; Andreote, 2016). Assim, a respiração basal do solo apresenta um aspecto qualitativo da decomposição e oxidação da matéria orgânica. No processo de assimilação, a depender da relação C/N de um resíduo, as taxas de incorporação do carbono ao solo são de 1/3, com o restante (2/3) sendo gerado na forma de dióxido de carbono (CO₂). A fração composta por substratos prontamente decomponíveis transforma-se rapidamente em CO₂ e biomassa. Em seguida, são transformados os componentes químicos mais resistentes e a própria fração da nova biomassa morta. O processo prossegue podendo durar meses ou anos até a completa degradação e mineralização dos constituintes orgânicos, com a produção de grande quantidade de CO₂, formação de húmus e biomassa (Moreira; Siqueira, 2006).

4.2 Agroecossistemas: Contextualização

Os agroecossistemas estão relacionados com os ciclos biogeoquímicos pela relação direta com o estudo da ecologia e o fluxo de energia, assim como os ecossistemas naturais, que restauram o equilíbrio a partir da relação dos seres vivos com os fatores abióticos, o manejo de agroecossistemas também segue esse padrão. Por exemplo no caso do desmatamento antrópico de uma área, em que as espécies locais remanescentes, incluindo a microbiota do solo, tendem a buscar o reestabelecimento para a sobrevivência. E pensar os sistemas alimentares nesse contexto ecológico, promovendo a saúde do solo e o cultivo de alimentos saudáveis, é interessante no que diz respeito a proporcionar qualidade nutricional aos consumidores, seja em áreas urbanas ou rurais. De acordo com Altieri (2004), A produção sustentável em um agroecossistema deriva do equilíbrio entre plantas, solos, nutrientes, luz solar, umidade e outros organismos coexistentes.

Esse planejamento de atividades que buscam o equilíbrio entre os fatores de origem natural é realizado pelos seres humanos que buscam ter um melhor acesso aos alimentos e então desempenham os seus trabalhos agrícolas a partir do conhecimento ecológico de relações e biodiversidade. Segundo Reiniger (2017), os agroecossistemas constituem um tipo especial de ecossistema, intermediários entre os ecossistemas naturais e os ecossistemas urbanos como as cidades, totalmente construídos pelos seres humanos. Esse aspecto se dá pela alteração na paisagem. Mesmo se buscando a sustentabilidade ambiental das atividades de gestão de um agroecossistema, há o uso de combustíveis fósseis, como a grande maioria das

atividades de produção elaboradas pela humanidade. Conforme Collins & Qualset (1998), os agroecossistemas, por exemplo, são impulsionados tanto pela energia solar quanto por subsídios. Os sistemas urbanos dependem principalmente de enormes aportes de subsídios para combustíveis fósseis.

Outro aspecto importante trazido por Collins & Qualset (1998) é que o grande impacto da agricultura na vida selvagem é a conversão da vegetação natural em um agroecossistema. A perda de habitats reduz diretamente a biodiversidade. Assim mesmo, é importante essa reflexão por ser comum que os ecossistemas urbanos já tenham passado por sucessivas alterações ao longo dos anos. Há também o fato de que, em geral as atividades humanas de produção de recursos utilizam energias poluentes ou com algum impacto ambiental, portanto a alteração causada pelo manejo antrópico nesses ambientes em questão tem o seu aspecto de sustentabilidade e regeneração de áreas, pelo planejamento biodiverso da produção e do uso insumos, além do serviço de educação ambiental transmitido a sociedade.

A capacidade produtiva de um agroecossistema é abordada por Altieri (2004), ao apresentar que os agroecossistemas tropicais, compostos de parcelas produtivas e em pousio, hortas domésticas complexas e lotes agroflorestais, geralmente contêm mais de 100 espécies por campo de cultivo proporcionando materiais de construção, lenha, ferramentas, medicamentos, alimentos para o gado e para o consumo humano. Um relevante tópico pertinente ao manejo do solo, já que a diversidade de produtos agrícolas está relacionada com o uso da terra. Conforme Gliessman (2000), a ciência da ecologia nos fornece um conjunto de parâmetros ecológicos que podem ser estudados e monitorados ao longo do tempo para avaliar o progresso em direção à sustentabilidade ou o seu afastamento dela. Esses parâmetros incluem a diversidade de espécies, o teor de matéria orgânica do solo e a profundidade da camada superficial do solo. Relativo à matéria orgânica na temática ecológica, há o estudo do microbioma edáfico de agroecossistemas. A diversidade microbiana precisa ser considerada na investigação da qualidade do solo em terras agrícolas. A qualidade do solo é crucial para o funcionamento de qualquer ecossistema. Pode impactar significativamente o uso da terra, a sustentabilidade e a produtividade. A qualidade do solo, característica inerente a ele, compreende propriedades físicas, químicas e biológicas. Essas propriedades podem ser alteradas por práticas de manejo intensivo. A redução da diversidade vegetal acima do solo, que ocorre com perturbações severas, como aração, sobrepastoreio e poluentes, pode diminuir a diversidade microbiana (Collins; Qualset, 1998).

Nesse contexto, avaliar as características biológicas do solo tem se apresentado como um importante parâmetro científico no desenvolvimento de métodos de indicação da saúde do solo que possam melhorar a gestão de sistemas agrícolas, buscando torná-los sustentáveis e de fácil acesso aos produtores e consumidores. Há também, nas metodologias de análises de solo, o aspecto de avaliação da poluição ambiental com metais pesados, ao verificar o impacto de resíduos industriais no solo em proximidade a sistemas alimentares, tema diretamente relacionado ao manejo de agroecossistemas urbanos. Conforme explica Moreira & Siqueira (2006), que compostos ou elementos tóxicos adicionados ao solo através de diversas atividades antrópicas (agrícolas, indústrias, mineradoras) têm efeitos prejudiciais à microbiota, por isso, a biota edáfica podem ser importante ferramenta em estudos de avaliação da qualidade do solo.

4.2.1 O carbono em agroecossistemas: Biodiversidade e clima

No contexto de manejo de solo e agroecossistemas no meio rural e urbano, pode-se fazer uma avaliação do ciclo do carbono e a relação com a biodiversidade de culturas plantadas e da microbiota edáfica. Há também a contribuição com a diminuição de poluentes no ar e com a captura do CO₂ como gás de efeito estufa (GEE). Conforme Paul (2007), as atividades de decomposição e as estratégias de vida dos microrganismos e da fauna do solo atuam como a equipe de “gestão de resíduos” de um ecossistema e desempenham um papel importante na manutenção do balanço global de carbono, equilibrando o CO₂ fixado pela fotossíntese e liberando CO₂ de volta para a atmosfera por meio da decomposição (Paul, 2007).

O cultivo de árvores tem o efeito de amenizar o clima através do sombreamento e da evapotranspiração, conforme apresenta Moreira & Siqueira (2006), a presença de árvores nos ecossistemas fornece sombra e remove poluentes da atmosfera, executando a função de regular localmente o clima e a qualidade do ar. O sequestro e armazenamento de carbono é realizado quando árvores e plantas crescem, removem o dióxido de carbono da atmosfera e efetivamente armazenam esse carbono em seus tecidos. As florestas, ainda, influenciam a quantidade de chuva no ecossistema. Essa informação é relevante, já que agricultura é uma atividade que maneja paisagens. Como afirma Paul (1996), as atividades relacionadas à agricultura, principalmente o desmatamento e a queima de biomassa, contribuem com cerca de um terço da emissão líquida global de CO₂,

Há também o aspecto da diversidade bioquímica de metabólitos, pela presença de espécies de famílias variadas, tanto de plantas como de microrganismos. De acordo com Primavesi (2002), cada planta absorve elementos distintos, podendo ser mais rica em amidos e proteínas, como as leguminosas, ou mais rica em celulose e ligninas como capins, especialmente as raízes destes. Característica também refletida nos resíduos incorporados ao solo. Ecossistemas, assim como culturas em diferentes agrossistemas, produzem quantidades diferentes de resíduos com composição também diferentes. O milho, por exemplo, produz mais do dobro de resíduos que a soja ou o trigo. Nas três culturas, as raízes são as principais fontes de material orgânico para o solo, representando quase a metade do total de resíduos deixados no solo (Moreira; Siqueira, 2007). Como a decomposição é feita por microrganismos, e estes possuem cada qual exigências muito específicas à sua nutrição, é lógico que cada tipo de vegetação também tenha o seu tipo de microrganismos que a decompõem, mas como cada microrganismo produz substâncias intermediárias distintas na decomposição, as substâncias que formam húmus também são as mais variadas. Enquanto a folha de leguminosa é material rico em proteínas e, portanto, de fácil decomposição, a raiz de gramíneas (capins) é muito rica em lignina e, portanto, de decomposição mais difícil (Primavesi, 2002).

Primavesi (2002) também informa que as gramíneas forrageiras, especialmente quando podem desenvolver livremente suas raízes, são a maneira mais segura de enriquecer o solo com substâncias húmicas. Apresentando a importância das culturas forrageiras na saúde e na estrutura do solo. Uma vez que a atividade é a nível da rizosfera, essas propriedades das gramíneas estão relacionadas a composição e exsudação radicular. Amidos e proteínas são os primeiros a serem decompostos, seguidos de celulose. A lignina sempre é de decomposição mais lenta por ser de estrutura química mais complexa. Variedades de moléculas resultam em tempos distintos de decomposição no solo. O estudo das forrageiras está relacionado também com os sistemas agroflorestais, que conforme Rocha (2014), são uma mistura de culturas anuais, árvores perenes e frutíferas, leguminosas, criação de animais, a própria família e outros, reunidos numa mesma área ou lote. Esses sistemas seguem o cultivo por estratos, sucessão e ocupação de espécies, o que contribuem também com o desenvolvimento de características específicas ao microbioma do solo, além de estarem relacionados com práticas conservacionistas do solo e da água.

4.3 Serviços ecossistêmicos

A partir do entendimento do ciclo biogeoquímico do carbono e o contexto dos sistemas alimentares com base agroecológica, surge a relação com os serviços ecossistêmicos. Segundo Vezzani (2015), os serviços ecossistêmicos são os benefícios que as pessoas obtêm dos ecossistemas. Portanto, um tema importante para o desenvolvimento urbano saudável e sustentável. Nas cidades, a depender da infraestrutura local, a natureza tem a capacidade de proporcionar serviços ecossistêmicos por meio do solo, da água, da atmosfera e da biodiversidade. A permanência de árvores seja para o paisagismo ou para o fornecimento de frutos é fundamental para a vida no contexto urbano, onde na maioria dos espaços o solo é impermeabilizado para melhorar o transporte e o deslocamento. De acordo com Muñoz (2017), na atualidade, os remanescentes florestais naturais inseridos nas áreas urbanas conservam características fisionômicas e de estrutura da vegetação que permitem oferecer serviços ecossistêmicos nas cidades para o bem-estar da população. A presença de árvores nos ecossistemas fornece sombra e remove poluentes da atmosfera, executando a função de regular localmente o clima e a qualidade do ar. O sequestro e armazenamento de carbono é realizado quando árvores e plantas crescem, removem o dióxido de carbono da atmosfera e efetivamente armazenam esse carbono em seus tecidos. As florestas, ainda, influenciam a quantidade de chuva no ecossistema (Vezani, 2017).

Nesse contexto, a agricultura urbana também contribui com os serviços ecossistêmicos nas cidades uma vez que facilita o escoamento de alimentos frescos para os consumidores nas cidades, dinamizando a economia e melhorando as transações comerciais.

Portanto, para o desenvolvimento de sistemas alimentares urbanos eficientes e sustentáveis, é fundamental a boa relação com o solo e os seus benefícios ecossistêmicos. É importante a busca de uma boa gestão dos agroecossistemas que se desenvolvem também em ambiente urbano.

As análises biológicas do solo têm relação direta com a gestão de uma agricultura sustentável e com o manejo do solo, uma vez que levanta dados quantitativos e qualitativos acerca da atividade e da biodiversidade da microbiota edáfica. O solo de cultivo alimentar que contém uma boa saúde está proporcionando serviços ecossistêmicos.

4.4 Análises biológicas - *Respiração basal do solo (RBS)*

Ao relacionar manejo e saúde do solo a partir do estudo da microbiota edáfica como composição do carbono orgânico, surgem as análises biológicas do solo em laboratório. Conforme Collins & Qualset (1998) ao aprofundar o conhecimento sobre as relações entre a biodiversidade microbiana e a resiliência do solo, é possível alcançar uma melhor compreensão dos indicadores microbianos.

As medidas de qualidade do solo tornaram-se recentemente importantes nas comparações de sistemas de manejo. Parte integrante da avaliação da qualidade do solo são as medidas da comunidade microbiana. As propriedades microbiológicas podem identificar mudanças na qualidade geral do solo antes que ocorram alterações em certos parâmetros físicos e químicos que, eventualmente, impactam a viabilidade geral da cultura e do solo. Os níveis de atividade, a biomassa e as mudanças na comunidade podem refletir a estabilidade de um sistema em relação ao nível de ciclagem de nutrientes, à quantidade de carbono utilizada e à estrutura e função geral da comunidade no solo. Como a diversidade microbiana dos solos agrícolas é importante para a manutenção da sua formação, para a remoção de toxinas e para a ciclagem de elementos, as medidas de diversidade provavelmente se tornarão cada vez mais importantes nas avaliações da qualidade do solo. Exemplos de mudanças rápidas na estrutura da comunidade, como essas, podem servir como indicadores precoces de alterações na qualidade do solo (Collins; Qualset, 1998).

Nesse contexto de manejo e gestão da saúde do solo, surge a importância de avaliar a respirometria basal do solo como estimativa da atividade de decomposição da matéria orgânica pelos microrganismos. A análise consiste em quantificar o carbono na forma de dióxido de carbono (CO_2), por quantidade peso ou volume de solo em um determinado período. A respiração é um indicador de qualidade do solo sensível e revela rapidamente alterações nas condições ambientais que porventura afetem a atividade microbiana (De Polli & Pimentel, 2005).

5 METODOLOGIA

5.1 Área de estudo

5.1.1 Agroecossistema urbano: ECOINEC

O ECOINEC é um projeto de agroecologia urbana fundado em 2023 pelo Instituto Nordeste e Cidadania (INEC). Além do cultivo agrícola e dos serviços ecossistêmicos proporcionados as pessoas e ao ambiente urbano, o projeto também tem o propósito de educação ambiental. Está localizado no bairro Passaré, no município de Fortaleza/CE, onde no ano de 2025 registrou o volume pluviométrico total de 1482,9 mm, segundo a FUNCEME (Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos).

Em estimativa de produção agrícola, 250 kg de alimentos foram produzidos em um ano, que foram compartilhados com a comunidade em forma de cestas. Nesse tempo, muitas pessoas conheceram o espaço e puderam aprender sobre a biodiversidade de plantas e a promoção de benefícios ao solo e ao ar.

Na proposta de educação ambiental, recebe turmas das disciplinas de Introdução à Agronomia e Agroecologia do curso de Agronomia da Universidade Federal do Ceará (UFC); turmas da disciplina de Geografia Agrária do curso de Geografia da Universidade Federal do Ceará (UFC); turmas dos cursos de Geografia e Nutrição da Universidade Estadual do Ceará (UECE); escolas públicas e privadas da Região Metropolitana de Fortaleza (RMF); órgãos públicos e movimentos sociais.

O ECOINEC participa do Projeto Salas Verdes vinculado ao Ministério do Meio Ambiente (MMA) do Governo Federal, selo que consiste no incentivo à implantação de espaços socioambientais para atuarem como potenciais centros de informação e formação ambiental. Com o apoio do Ministério das Mulheres (MMULHERES), o INEC lançou em 2025 o projeto Agroecologia Mulheres, que promove oficinas em agricultura urbana e geração de renda sustentável.

A área total do terreno é de cerca de 2500 m². A área de produção agrícola (Figura 1) é composta de um pomar, canteiros de hortaliças e barreiras de biodiversidade. Tem cerca de 1270 m² e foi projetada seguindo princípios dos sistemas agroflorestais (SAFs), que utilizam culturas posicionadas no sistema a partir da sua estratificação, sucessão, ocupação e serviço. A estratificação indica a porcentagem de luz que a cultura necessita para o seu desenvolvimento,

como uma floresta de andares, conforme relata Rocha (2014). Enquanto a sucessão indica o serviço ecossistêmico e agrícola que a cultura vai fornecer durante o tempo em que ela está planejada a permanecer no agroecossistema. Rocha (2014) também apresenta que as agroflorestas sucessionais são sistemas com alta diversidade de espécies que agem de acordo com a sucessão natural e são desenhadas na forma de consórcio de plantas anuais, leguminosas e espécies perenes, onde a evolução sucessional é maximizada pelas atividades de manejo. Há também no terreno uma área sem atividade agrícola, com cerca de 720 m², isolada para projetos futuros do ECOINEC.

Figura 1 - Imagem aérea da produção agrícola do agroecossistema urbano ECOINEC no município de Fortaleza/CE.



Fonte: ECOINEC (2024).

O ECOINEC realiza diversos tipos de manejo e tratamentos agrícolas, incluindo podas de formação, de limpeza, desbaste, adubação verde, adubação orgânica, cobertura do solo (Figura 2), uso de quebra-vento e barreiras de biodiversidade, capina seletiva, plantio de leguminosas, tutoramento e colheita. O agroecossistema recebe o remanescente de poda triturada de árvores urbanas, material utilizado para a montagem de canteiros, cobertura de solo e compostagem.

Figura 2 – Solo preparado utilizando biomassa triturada de poda urbana para cobertura de solo. Canteiros desenhados para a fundação da horta em formato de mandala.



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Os canteiros foram planejados e montados em formato de leiras preenchidas com biomassa triturada e cobertura de solo, destinados ao cultivo de árvores e hortaliças, para a produção agrícola, e ao cultivo de plantas ornamentais para o paisagismo (Figura 3).

Figura 3 - Canteiro projetado em leira.



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

5.2 Tratamentos

A partir da área do sistema, foram selecionados 4 tratamentos (Tabela 1) para a aplicação da análise biológica. São eles: Controle, Barreira, Pomar e Horta.

Tabela 1 - Tratamentos e as suas respectivas dimensões e áreas.

Tratamentos	Dimensões	Área
Controle	30m x 18m	540 m ²
Barreira	30m x 2m	60 m ²
Pomar	20m x 8m	160 m ²
Horta	20m x 25m	500 m ²
Área dos tratamentos		1260 m²

Fonte: Elaborado pelo autor.

5.2.1 Controle

O tratamento Controle está localizado em uma área cercada por tapume metálico, sem atividades relacionadas ao cultivo agrícola e com o solo com características próximas às do período anterior da fundação do ECOINEC. Da área total de 712,6 m², foi selecionado para compor o tratamento, o espaço sem edificações e com o solo exposto para a amostragem, que tem área de 540 m². A textura do solo é arenosa, com alguns pontos de formigueiro, provavelmente em desenvolvimento a partir dos recursos de matéria orgânica da área de cultivo do agroecossistema, característica com capacidade de influenciar nos resultados da avaliação.

5.2.2 Barreira

O tratamento Barreira tem uma área de 60 m² (Figura 4). É constituído por uma linha densa de capim-elefante (*Pennisetum purpureum*) e tem a função de quebra-vento, prática conservacionista vegetativa com a finalidade de reduzir a força dos ventos e evitar danos mecânicos nas culturas. Tem a função de criar um microclima para os setores de cultivo agrícola como a horta e o pomar, além de servir como controle físico contra o ataque de insetos. A seleção do tratamento visa avaliar a respiração basal do solo da microbiota edáfica de uma cultura gramínea forrageira, presente em pastagens naturais e cultivadas, relacionada com outras culturas.

Figura 4 – Área do tratamento Barreira.



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

5.2.3 Pomar

O tratamento Pomar é uma área de 160 m². Há o registro de pelo menos 15 culturas plantadas desde a fundação e tem a função de produzir culturas frutíferas para o futuro e servir como linha de árvores estratificadas para todo o sistema, enquanto durante o seu manejo ao longo dos anos fornece aporte de biomassa e ciclagem de nutrientes no solo. Foi

planejado inicialmente com culturas leguminosas para melhorar a estrutura do solo a partir da fixação biológica de nitrogênio e adubação verde. Foi estruturado com canteiros em formato de leira, em elevação de terra com abertura de linhas para plantio e cobertura do solo. Os canteiros biodiversos seguem o modelo agroflorestal de estratificação e sucessão. A seleção do tratamento busca avaliar os dados respirométricos do solo de culturas frutíferas em consórcio. Algumas das culturas plantadas são: Banana (*Musa sp.*), Acerola (*Malpighia emarginata*), Cacau (*Theobroma cacao*), Café (*Coffea sp.*), Amora (*Rubus brasiliensis*) e Tamarindo (*Tamarindus indica*).

5.2.4 Horta

O tratamento Horta tem uma área de 500 m². Assim como o pomar, foi estruturado com canteiros em leiras com culturas estratificadas e sucessionais. Há registro de pelo menos 40 culturas plantadas desde a fundação em 2024, o que confere o aspecto biodiverso. No ano inicial, os canteiros foram montados a partir de subsolagem, delimitados por troncos de madeira e preenchidos com a biomassa de poda triturada. A horta foi planejada com canteiros de linhas de árvores com a função de estratificação e estrutura para os canteiros de hortaliças (Figura 5). Esse cultivo dinâmico motivou a seleção do tratamento para a avaliação da respiração basal do solo. Algumas das culturas, entre linhas de árvores e hortaliças são: Eucalipto (*Eucalyptus sp.*), Moringa (*Moringa oleifera*), Gliricídia (*Gliricidia sepium*), Gergelim (*Sesamum indicum*), Tomate (*Solanum lycopersicum*), Mostarda (*Brassica rapa*), Alface (*Lactuca sativa*), Couve (*Brassica oleraceae*) e Salsa (*Petroselinum crispum*).

Figura 5 – Linhas e entrelinhas dos canteiros da horta.



Fonte: Elaborado pelo autor. (2025)

5.3 Amostragem do solo

Para a amostragem de solo dos 4 tratamentos, foi planejada a coleta de 15 amostras simples para compor 1 amostra composta. Assim, foram coletadas 60 amostras simples, totalizando 4 amostras compostas para representar cada tratamento do agroecossistema (Tabela 2).

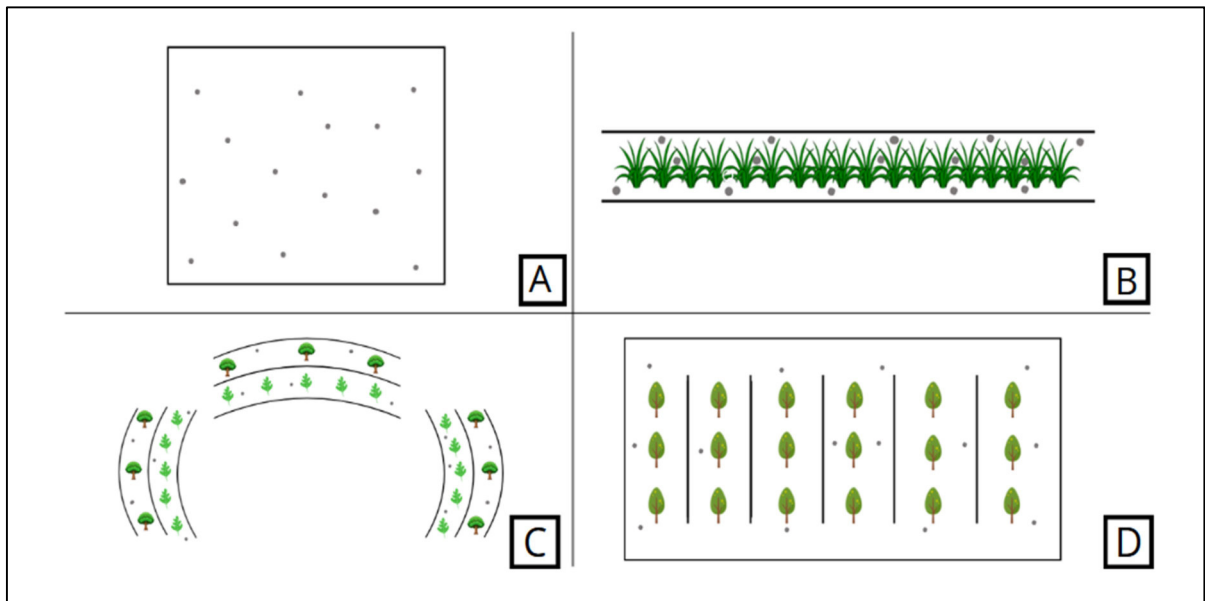
Tabela 2 – Quantidade de solo coletado em cada tratamento.

Tratamentos	Nº de Amostras Simples	Profundidade (cm)	Peso (g)
Controle	15	0-20	800 g
Barreira	15	0-20	800 g
Pomar	15	0-20	1200 g
Horta	15	0-20	900 g
Total de amostras compostas			4
Total de amostras simples			60

Fonte: Elaborado pelo autor.

A coleta foi realizada em zigue-zague (Figura 6), como método representativo da área, com o auxílio de um trado holandês com caçamba de 20 cm, cedido pelo Laboratório de Manejo do Solo do Departamento de Ciências do Solo, da Universidade Federal do Ceará. As amostras simples de cada tratamento foram peneiradas e destorroadas com o auxílio de uma peneira de 2 mm e, posteriormente, foram armazenadas em um recipiente de 8 litros.

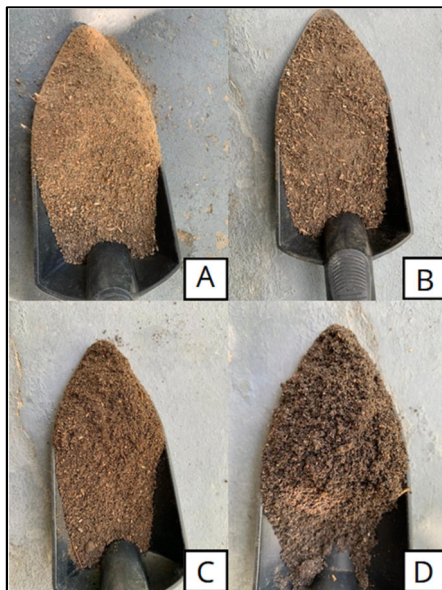
Figura 6 - Representação ilustrativa dos pontos de coleta das amostras simples nos tratamentos: Controle (A); Barreira (B); Horta (C); Pomar (D).



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Após a coleta das 15 amostras simples de cada tratamento, foi feita a limpeza da peneira e do recipiente com água, para manter as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo de cada tratamento. Cada amostra composta (Figura 7) foi armazenada em sacos que foram pesados e etiquetados para identificação. Os sacos contendo as amostras foram pré-incubadas e armazenadas em recipiente aberto, em sala à temperatura ambiente e sem incidência de luz solar direta por 7 dias, até o início da análise biológica. A pré-incubação é importante para o equilíbrio metabólico dos microrganismos nas amostras. Conforme apresenta, Schroeder et al. (2021), existem diferentes métodos de preparação de amostras de solo para analisar parâmetros microbianos, incluindo a análise de solo fresco, a reidratação de amostras secas ou o descongelamento de amostras congeladas antes da análise. O manuseio da amostra de solo, o tempo de armazenamento e a duração da pré-incubação antes da análise, denominados como "pré-tratamento", são reconhecidos há muito tempo por afetar os parâmetros medidos da atividade e da comunidade microbiana do solo.

Figura 7 – Parte das amostras compostas do solo dos tratamentos: Controle (A), Barreira (B); Pomar (C); Horta (D).



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

A amostragem do solo foi realizada em dezembro de 2025, anterior ao início da quadra chuvosa no município de Fortaleza/CE. Dado importante para indicar o estado do solo no período da coleta, recebendo somente o manejo da irrigação periódica.

5.4 Respirimetria Basal do Solo - Titulometria

As amostras compostas de solo foram submetidas a análise biológica de respirometria basal do solo pelo método da titulometria em dezembro de 2025, no Laboratório de Microbiologia do Solo do Departamento de Ciências do Solo, da Universidade Federal do Ceará. Os materiais utilizados foram: amostras compostas, balança de precisão, frascos de vidro, copos, pipeta graduada de 10 ml e bureta de 50 ml e dispensadores automáticos. Os reagentes utilizados, de acordo com Alef (1995), foram: fenolftaleína solução alcoólica 1%, cloreto de bário (BaCl_2) 50%, solução de NaOH 0,5 N, solução de HCl 0,5 N e água destilada.

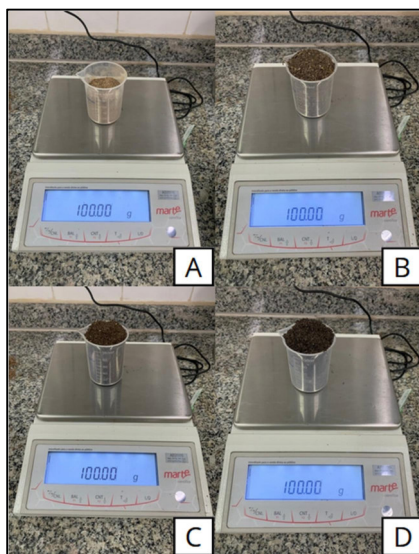
Uma vez que o experimento foi realizado como um delineamento inteiramente casualizado de 4 tratamentos com 3 repetições analíticas, primeiramente foram separados 15 frascos de vidro: 12 frascos para os tratamentos e 3 frascos para o teste em branco.

Os frascos referentes ao teste em branco não acomodaram amostras de solo. O hidróxido de sódio (NaOH) reage com o CO_2 presente no ar no interior dos frascos, sendo

esse procedimento utilizado como controle analítico para a correção dos valores da respiração basal microbiana.

Posteriormente, foi pesado 100g de cada uma das 4 amostras composta em balança de precisão (Figura 8) para acomodação nos frascos de vidro referentes aos tratamentos.

Figura 8 – Pesagem de 100g, em balança de precisão, das amostras compostas dos tratamentos: Controle (A); Barreira (B); Pomar (C); Horta (D).



Fonte: Elaborado pelo autor.

Em seguida, foram preenchidos os copos contendo água destilada e os copos contendo hidróxido de sódio (NaOH 0,5N) com o auxílio do dispensador automático. A acomodação do solo nos frascos é feita de forma inclinada de modo a permitir espaço para o copo contendo água destilada e para o copo contendo 20 ml de hidróxido de sódio (NaOH 0,5 N). As amostras de solo foram umedecidas com 10 ml de água destilada, até cerca de 60% da capacidade de campo, para correção da atividade

Após a montagem do delineamento, os frascos de vidro ficaram dispostos em bancada até o encerramento das atividades de titulometria (Figura 9).

Figura 9 - Disposição dos frascos de vidro em repetições alinhadas por tratamentos. Branco: Teste em branco; Amarelo: Controle; Azul: Barreira; Laranja: Pomar; Verde: Horta.

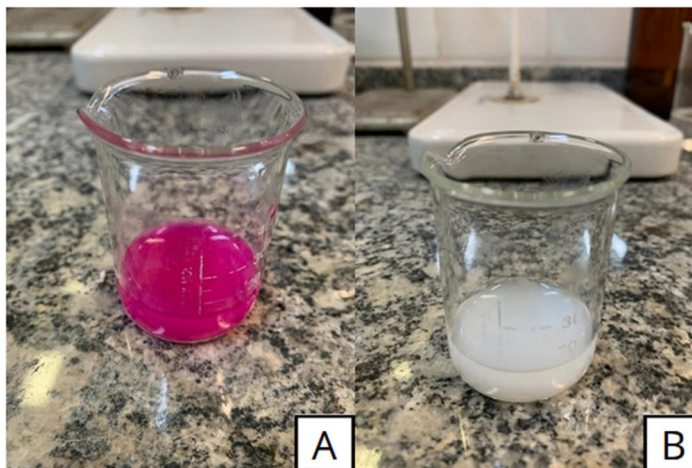


Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Os frascos foram abertos a cada 24 horas, por um período de 7 dias, para a leitura, a partir do agente titulante ácido clorídrico (HCl 0,5 N) com a utilização de uma bureta de 50 ml. Para o preparo da amostra para a titulação, os frascos de vidro foram abertos e em cada copo contendo o hidróxido de sódio (NaOH), a ser titulado, que reagiu com o dióxido de carbono (CO₂) emitido pela respiração basal das amostras, foi adicionado 1 ml de cloreto de bário (BaCl₂) para a estabilização da reação

Em seguida, foi retirada uma alíquota de 10 ml da solução de cada repetição analítica com o auxílio de uma pipeta graduada e adicionado 2 gotas do indicador de pH fenolftaleína (Figura 10a). Assim, após a titulação até o ponto de viragem (Figura 10b), indicando a neutralização da solução, o volume foi registrado em planilha periódica.

Figura 10 - Alíquota de 10ml de NaOH após a estabilização e a indicação de pH com fenolftaleína (A); Amostra titulada até o ponto de viragem, indicando a reação de neutralização e o volume de HCl gasto para o cálculo do teor de dióxido de carbono (CO₂) capturado (B).



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

As leituras diárias, durante os 7 dias, foram tabeladas após o cálculo das médias. Os valores foram contabilizados em mililitros de ácido clorídrico gasto. A fórmula utilizada para o cálculo da quantidade de CO₂ liberada diariamente foi a seguinte:

$$C\text{-CO}_2 \text{ (mg)} = \frac{(VB - V) \cdot 0,5 \cdot 6 \cdot \left(\frac{20}{10}\right)}{100}$$

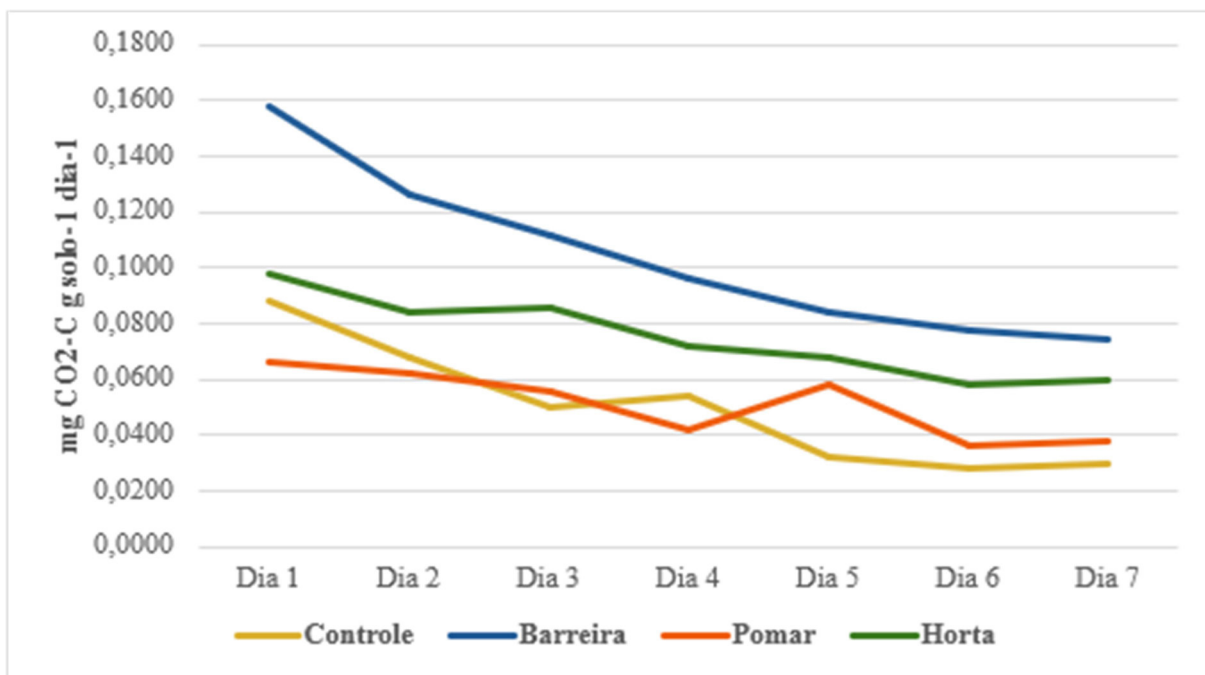
Onde, VB é o volume titulado de referência, da repetição em branco; V é o volume da repetição do tratamento referente; 0,5 é a concentração real do HCl (mol L⁻¹); e 6 massa atômica do Carbono dividido pelo número de mols de CO₂ que reagem com o NaOH; 20ml a quantidade de NaOH utilizada para captura de CO₂; 10 ml a alíquota pipetada para titulação e 100g é o peso da massa seca do solo.

Os resultados dos cálculos das 3 repetições de cada tratamento foram tabelados. Em seguida, foi calculada a média dos resultados das repetições.

Aplicando-se os resultados no gráfico (Gráfico 1), temos a linha do tempo da média das leituras diárias em cada tratamento. O gráfico apresenta as tendências de cada tratamento durante o período de avaliação, todos com decréscimo na quantidade de C- CO₂ expirado. O tratamento Barreira obteve maiores valores diários. Em seguida, o tratamento Horta com uma tendência de decréscimo menos acentuada em relação aos outros tratamentos, representando

equilíbrio entre os valores expirados diariamente. Os tratamentos Pomar e Controle com valores próximos, porém com valores iniciais e tendências distintas. O tratamento Pomar apresenta um pico de respiração basal do solo no 5º dia de leitura, encerrando os ensaios com maiores valores expirados em relação ao Controle.

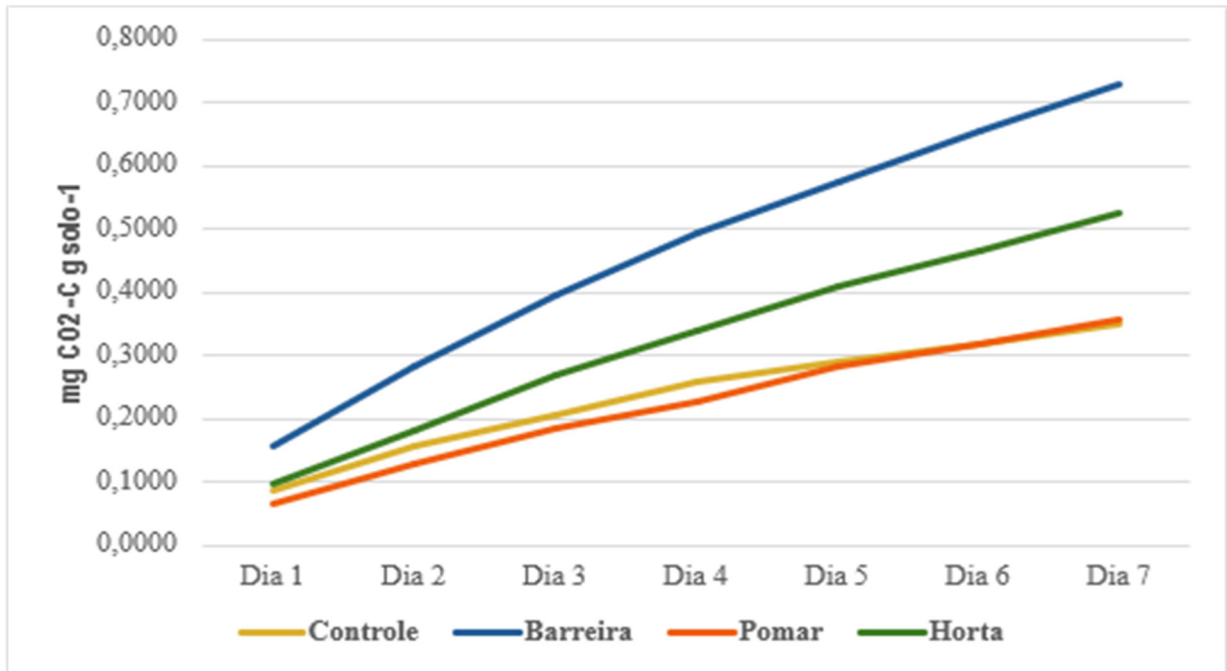
Gráfico 1 - Valores médios de dióxido de carbono (CO₂) respirado em 24 horas durante o período de 7 dias.



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

A estimativa da respiração acumulada apresenta a linha do tempo e o somatório até o valor total ao último dia de leitura (Gráfico 2), dado referente aos valores acrescidos de C-CO₂ expirados em relação as leituras do dia anterior, a partir do segundo dia. Os tratamentos Barreira e Horta apresentaram tendência semelhante de acréscimo em todos os dias do experimento. O tratamento Pomar inicia o ensaio respirométrico com menores valores de C-CO₂ expirados diariamente em relação ao Controle. Ao 5º dia, os valores se igualam. O experimento encerra com o tratamento Pomar com valores maiores de respiração acumulada em relação ao Controle.

Gráfico 2 - Respiração acumulada durante o período de 7 dias.



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Com os valores do somatório, é possível estimar a média de respiração diária ao dividir os valores por 7. Então, temos os resultados que serão aplicados aos testes estatísticos de análise de variância (ANOVA) e da diferença entre as médias (teste de Tukey).

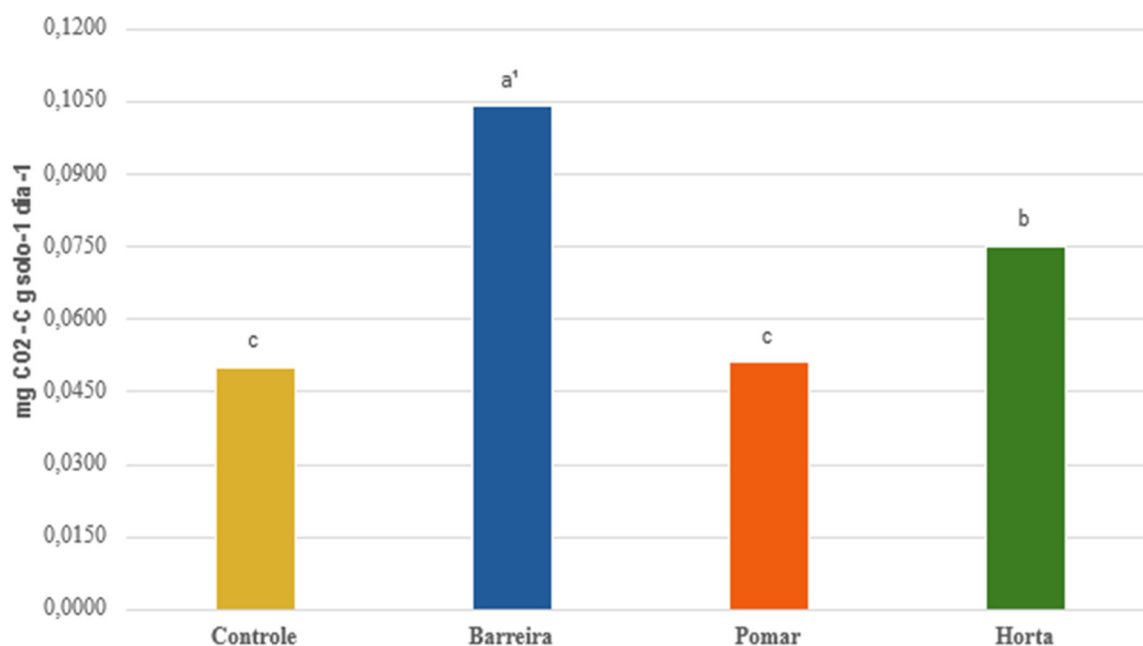
5.5 Teste estatístico

Os dados foram submetidos ao teste estatístico com o auxílio do programa SISVAR. A análise de variância (ANOVA) e o teste de Tukey a 5% de probabilidade foram realizados para avaliar a diferença das médias diárias. Foi testada a hipótese: O tratamento Barreira, composto por uma linha de 60m² de capim-elefante (*Pennisetum purpureum*), irá apresentar a maior média de respiração diária em relação aos outros tratamentos, devido às características de aporte de biomassa e exsudação radicular da cultura. O gráfico de barras apresenta as médias de respiração diária de cada um dos tratamentos e a comparação estatística das médias, apresentando diferenças significativas entre os tratamentos. Os tratamentos Barreira e Horta apresentaram as maiores médias de liberação diária de C-CO₂.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Houve diferença significativa ao teste de Tukey (Gráfico 3) a 5% de probabilidade, do tratamento Barreira em relação aos tratamentos Pomar, Horta e Controle. Também houve diferença significativa do tratamento Horta em relação aos tratamentos Barreira, Pomar e Controle. Não houve diferença significativa entre os tratamentos Pomar e Controle.

Gráfico 3 - Média da respiração diária dos tratamentos durante o período de 7 dias.



¹ Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Fonte: Elaborado pelo autor.

A hipótese de que o tratamento Barreira iria apresentar maior média de respiração diária foi aceita. O tratamento Barreira, que é formado pela cultura do capim-elefante (*Penisetum purpureum*), obteve o maior nível respirométrico (0,1040 mg C-CO₂ g solo⁻¹ dia⁻¹), resultando no levantamento de um dado importante sobre o metabolismo da microbiota edáfica do solo de gramíneas, que contribui com a ciclagem de nutrientes em um agroecossistema biodiverso.

Conforme Primavesi (2002), o adensamento correto e com espaçamento contribui com a porosidade do solo, permitindo a expiração do CO₂. Mesmo com baixa intensidade de manejo, há alta emissão de C-CO₂ no tratamento. A autora também apresenta que a raiz de gramíneas forrageiras é muito rica em lignina e quando estas podem desenvolver livremente

suas raízes, são uma maneira de enriquecer o solo com substâncias húmicas. O resultado evidencia a importância das gramíneas para a dinâmica do solo. A biodiversidade de plantas favorece a ciclagem do carbono no agroecossistema, uma vez que o carbono fixado via fotossíntese retorna ao solo na forma de resíduos vegetais e exsudatos radiculares, estimulando a atividade microbiana e a respiração basal do solo.

Os tratamentos Pomar e Controle não obtiveram diferença significativa entre si. O Pomar é o setor de atividade agrícola que foi planejado, no período 2025, a diminuir o cultivo periódico para a permanência das secundárias (plantas que ficarão no setor para a produção), consequentemente tornando o manejo de solo do setor com menor frequência e intensidade. O tratamento Controle não há atividade de manejo do solo, assim, também há pouca intensidade. Neste tratamento, foi verificado a presença de formigueiros, aspecto que evidencia a distribuição de matéria orgânica trabalhada nos setores agrícolas pelos insetos, em direção a área onde não há manejo, como indicador de uma atividade de equilíbrio da matéria orgânica disponível no solo. No cultivo do formigueiro e na própria atividade de distribuição e transporte da matéria orgânica pelas formigas, há deposição de matéria orgânica no setor. Segundo Resende et al. (2017), as formigas recolhem resíduos ricos em nutrientes da área que rodeia o ninho e os concentram perto da entrada dele, tornando o solo mais rico em matéria orgânica.

O tratamento Pomar mantém a progressão acumulada, enquanto o tratamento Controle decaí. Esse, também, iniciou com baixa taxa respirométrica, obteve aumento nos dias seguintes, porém não foi o suficiente para apresentar mudança significativa entre os tratamentos.

O tratamento Horta manteve equilíbrio na linha do tempo diária respirométrica. Um aspecto relacionado a periodicidade de manejo, número de culturas plantadas e rotina de colheita, contribuindo com a uniformidade de resultados diários. A ocupação, a estratificação, a sucessão das culturas, características dos sistemas agroflorestais, têm capacidade de influenciar na microbiota edáfica uma vez que estão relacionadas ao manejo, assim como há influência da biodiversidade de culturas, as suas e as suas rotações durante o tempo no agroecossistema. De acordo com Rocha (2014), quanto maior for esta diversidade no sistema produtivo, maior é o número de interações ecológicas, isso quer dizer que, maior é o número de relações entre os diferentes seres vivos que ali habitam e se reproduzem.

7 CONCLUSÃO

O agroecossistema urbano com o seu planejamento de utilizar a biodiversidade de culturas plantadas fornece serviços ecossistêmicos às suas imediações, ao contribuir com a conservação do solo e da água, participando do ciclo do carbono ao produzir uma diversidade também de produtos da fotossíntese. Esse aspecto contribui com atividade da microbiota edáfica e conseqüentemente com a saúde do solo. Ao promover esse manejo, atua também com a educação ambiental para o público que o visita.

O referencial teórico contribuiu com a relação do resultado do tratamento Barreira e a alta atividade de exsudação radicular de gramíneas forrageiras, principalmente em consórcio com outras culturas, contribuindo com a diversidade da microbiota edáfica a partir da exsudação radicular da cultura. Permitiu também realizar uma conexão entre os temas: ciclo biogeoquímico do carbono, agroecossistemas, serviços ecossistêmicos e análises biológicas do solo, incluindo os sistemas agroflorestais, contribuindo para a realização da avaliação respirométrica do solo do agroecossistema urbano.

A avaliação da respiração basal do solo permitiu comparar a atividade microbiana entre diferentes áreas de manejo de um agroecossistema urbano. Os resultados demonstraram diferenças significativas na respiração basal entre os tratamentos, com destaque para o tratamento Barreira, que apresentou a maior média de respiração diária, enquanto os tratamentos Controle e Pomar não diferiram entre si. De forma geral, a respirometria basal do solo mostrou-se uma ferramenta sensível e adequada para a avaliação da atividade biológica do solo e para subsidiar a comparação de áreas com diferentes usos e manejos em agroecossistemas urbanos.

REFERÊNCIAS

- CARDOSO, E. J. B. N.; ANDREOTE, F. D. **Microbiologia do solo**. 2. ed. Piracicaba: ESALQ, 2016. 221 p.
- MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. (2006). **Microbiologia e Bioquímica do Solo**. 2. ed. Lavras: Editora UFLA, 729 p.
- PAUL, E. A. (Ed.). **Soil microbiology, ecology, and biochemistry**. 3. ed. Oxford: Academic Press, 2007.
- PAUL, E.A., Paustian, K.H., Elliott, E.T., & Cole, C.V. (1996). **Soil Organic Matter in Temperate Agroecosystems Long Term Experiments in North America** (1st ed.). P
- ALEF, K.; NANNIPIERI, P. (Ed.). **Methods in applied soil microbiology and biochemistry**. London: Academic Press, 1995.
- DE-POLLI, H.; PIMENTEL, M. S. Indicadores de qualidade do solo. In: AQUINO, A. M.; ASSIS, R. L. (eds.). **Processos biológicos no sistema solo-planta: ferramentas para uma agricultura sustentável**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Seropédica: Embrapa Agrobiologia, cap. 1, p. 17-28, 2005.
- ALTIERI, M. **Agroecologia: a dinâmica produtiva da agricultura sustentável** – 4.ed. – Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2004.
- GLIESSMAN, S.R. (Ed.). (2000). **Agroecosystem Sustainability: Developing Practical Strategies** (1st ed.). CRC Press.
- COLLINS, W.W., & QUALSET, C.O. (Eds.). (1998). **Biodiversity in Agroecosystems** (1st ed.). CRC Press.
- PRIMAVESI, Ana. **Manejo ecológico do solo: A agricultura em regiões tropicais**. São Paulo: Nobel, 2002.

REINIGER, Lia Rejane Silveira ... [et al]. **Princípios da agroecologia**/UFSM. Lia Rejane Silveira Reiniger, José Geraldo Wizniewsky, Marielen Priscila Kaufmann. – 1. ed. – Santa Maria, RS : UFSM, NTE, UAB, 2017.

AQUINO AM, Assis RL. **Agricultura orgânica em áreas urbanas e periurbanas com base na agroecologia**. Ambiente & Sociedade 2007; 10:137-50.

RESENDE, A. S. et al. **Artrópodes do solo durante o processo de decomposição da matéria orgânica**. Agronomía Colombiana, Bogotá, v. 31, n. 1, p. 89-94, 2013.

VEZZANI, Fabiane Machado. **Solos e os serviços ecossistêmicos**. Revista Brasileira de Geografia Física, v. 8, p. 673-684, 2015.

MUÑOZ, A. M. M.; FREITAS, S. R. **Importância dos serviços ecossistêmicos nas cidades: revisão das publicações de 2003 a 2015**. Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade (GeAS), v. 6, n. 2, p. 90-104, 2017.

ROCHA, E. J. P. L. **Jardins Agroflorestais: Princípios, Implantação e Manejo**. IPOEMA – Instituto de Permacultura: Organização, Ecovilas e Meio Ambiente. (2014). – Brasília

MORANDI, M. A. B.; PACKER, A. P.; MENDES, R.; TANURE, J. P. M.; ANDRADE, C. A. de; MENEZES, C. (ed.). **Agricultura & meio ambiente: a busca pela sustentabilidade**. Brasília, DF: Embrapa, 2024. 1010 p. il. color. cap. 27. part. 4.

NOBRE, M. M.; OLIVEIRA, I. R. de (Ed.). **Agricultura de baixo carbono: tecnologias e estratégias de implantação**. Brasília, DF: Embrapa, 2018. 194 p.

MAGALHÃES, M. Marques de; LIMA, D. A. L. Lunas. **Agricultura de Baixo Carbono no Brasil: O Impacto Ambiental e Comercial das Atuais Políticas Agrícolas**. Genebra: ICTSD, 2014.

SCHROEDER, J., KAMMANN, L., HELFRICH, M., TEBBE, C. C., & POEPLAU, C. (2021). **Impact of common sample pre-treatments on key soil microbial properties.** *Soil Biology and Biochemistry*, 160, 108321.

APÊNDICE A - TABELAS DE CULTURAS DOS TRATAMENTOS

1. Barreira

Tabela 3 – Culturas - Barreira - (2023 – 2025)

Cultura	Família
Capim-elefante, <i>Pennisetum purpureum</i>	<i>Poaceae</i>

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 4 - Barreira - Manejo e serviços - (2023-2025)

Manejo	Serviço
Cobertura triturada	Conservação do solo
Adubação orgânica (Composto)	Aporte de biomassa, fertilidade e estrutura do solo
Poda	Aporte de biomassa
Quebra vento	Reduzir a força dos ventos
Controle físico	Barreira física como controle fitossanitário

Fonte: Elaborado pelo autor

2. Pomar

Tabela 5 - Culturas - Pomar - (2023)

Culturas	Família
Milho, <i>Zea mays</i>	<i>Poaceae</i>
Feijão-guandu, <i>Cajanus cajan</i>	<i>Fabaceae</i>
Feijão de porco, <i>Canavalia ensiformis</i>	<i>Fabaceae</i>
Feijão-caupi, <i>Vigna unguiculata</i>	<i>Fabaceae</i>
Abóbora, <i>Curcubita maxima</i>	<i>Cucurbitaceae</i>

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 6 - Culturas – Pomar - (2023-2025)

Culturas	Família
Eucalipto, <i>Eucalyptus sp.</i>	<i>Myrtaceae</i>
Banana, <i>Musa sp.</i>	<i>Musaceae</i>
Jaboticaba, <i>Plinia cauliflora</i>	<i>Myrtaceae</i>
Acerola, <i>Malpighia emarginata</i>	<i>Malpighiaceae</i>
Cacau, <i>Theobroma cacao</i>	<i>Malvaceae</i>
Café, <i>Coffea sp.</i>	<i>Rubiaceae</i>
Amora, <i>Rubus brasiliensis</i>	<i>Rosaceae</i>
Urucum, <i>Bixa orellana</i>	<i>Bixaceae</i>
Tamarindo, <i>Tamarindus indica</i>	<i>Fabaceae</i>
Margaridão, <i>Tithonia diversifolia</i>	<i>Asteraceae</i>

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 7 - Pomar - Manejo e serviços – (2023-2025)

Manejo	Serviço
Plantio de leguminosa	Fixação biológica de nitrogênio
Cobertura triturada	Conservação do solo
Capina seletiva	Reduzir a competição de plantas espontâneas
Poda de formação	Condução das plantas e remoção de galhos
Poda de limpeza	Entrada de luz, revitalização e aporte de biomassa
Adubação verde	Aporte de biomassa, fertilidade e estrutura do solo
Adubação orgânica (Composto)	Aporte de biomassa, fertilidade e estrutura do solo
Colheita	Disponibilidade de recursos e alimentos

Fonte: Elaborado pelo autor.

Horta

Tabela 8 – Horta - Culturas das linhas de árvores - (2023-2025)

Culturas	Família
Estrato Emergente	
Eucalipto, <i>Eucalyptus sp.</i>	<i>Myrtaceae</i>
Margaridão, <i>Tithonia diversifolia</i>	<i>Asteraceae</i>
Quiabo, <i>Abelmoschus esculentus</i>	<i>Malvaceae</i>
Estrato Alto	
Moringa, <i>Moringa oleifera</i>	<i>Moringaceae</i>
Macaxeira, <i>Manihot eculenta</i>	<i>Euphorbiaceae</i>
Feijão guandú, <i>Cajanus cajan</i>	<i>Fabaceae</i>
Estratos Médio/Alto e Médio	
Algodão, <i>Gossypium hirsutum</i>	<i>Malvaceae</i>
Gliricídia, <i>Gliricidia sepium</i>	<i>Fabaceae</i>
Feijão de porco, <i>Canavalia ensiformis</i>	<i>Fabaceae</i>
Berinjela, <i>Solanum melongena</i>	<i>Solanaceae</i>
Amora, <i>Rubus brasiliensis</i>	<i>Rosaceae</i>
Banana, <i>Musa sp.</i>	<i>Musaceae</i>
Estratos Baixo/médio e Baixo	
Bacupari, <i>Garcinia gardneriana</i>	<i>Clusiaceae</i>
Batata doce, <i>Ipomoea batatas</i>	<i>Convolvulaceae</i>

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 9 – Horta - Culturas das linhas de hortaliças - (2023-2025)

Culturas	Família	Ocupação
Estrato Emergente		
Gergelim, <i>Sesamum indicum</i>	<i>Pedaliaceae</i>	
Milho, <i>Zea mays</i>	<i>Poaceae</i>	
Crotalária, <i>Crotalaria sp.</i>	<i>Fabaceae</i>	20%
Girassol, <i>Helianthus annuus</i>	<i>Asteraceae</i>	
Amaranto, <i>Amaranthus sp.</i>	<i>Amaranthaceae</i>	
Quiabo, <i>Abelmoschus esculentus</i>	<i>Malvaceae</i>	
Estrato Alto		
Couve, <i>Brassica oleraceae L.</i>	<i>Brassicaceae</i>	
Berinjela, <i>Solanum melongena</i>	<i>Solanaceae</i>	
Quinoa, <i>Chenopodium quinoa</i>	<i>Amaranthaceae</i>	
Estilosantes, <i>Stylosanthes sp.</i>	<i>Fabaceae</i>	40%
Tomate, <i>Solanum lycopersicum</i>	<i>Solanaceae</i>	
Tomate-cereja, <i>Solanum lycopersicum</i> v.cerasiforme	<i>Solanaceae</i>	
Maxixe, <i>Cucumis anguria L.</i>	<i>Cucurbitaceae</i>	
Estrato Médio/alto		
Cenoura, <i>Daucus carota</i>	<i>Apiaceae</i>	
Alface, <i>Lactuca sativa L.</i>	<i>Asteraceae</i>	
Mostarda, <i>Brassica rapa</i>	<i>Brassicaceae</i>	
Manjericão, <i>Ocimum basilicum</i>	<i>Lamiaceae</i>	
Rabanete, <i>Raphanus sativus</i>	<i>Brassicaceae</i>	60%
Rúcula, <i>Eruca sativa</i>	<i>Brassicaceae</i>	
Coentro, <i>Coriandrum sativum</i>	<i>Apiaceae</i>	
Pimenta, <i>Capsicum frutescens</i>	<i>Solanaceae</i>	
Pimentão, <i>Capsicum annuum</i>	<i>Solanaceae</i>	
Estrato Baixo/médio		
Salsa, <i>Petroselinum crispum</i>	<i>Apiaceae</i>	80%
Cebolinha, <i>Allium schoenoprasum</i>	<i>Amaryllidaceae</i>	

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 10 - Horta – Manejo e serviço - (2023-2025)

Manejo	Serviço
Plantio de leguminosas	Fixação biológica do nitrogênio
Cobertura triturada	Conservação do solo
Capina seletiva	Reduzir a competição de plantas espontâneas
Podas	Entrada de luz, revitalização e aporte de biomassa
Adubação verde	Aporte de biomassa, fertilidade e estrutura do solo
Adubação orgânica (Composto)	Aporte de biomassa, fertilidade e estrutura do solo
Tutoramento	Suporte às plantas e melhorar a qualidade dos frutos
Colheita	Disponibilidade de recursos e alimentos

Fonte: Elaborado pelo autor.