RCMOS – Revista Científica Multidisciplinar O Saber. ISSN: 2675-9128. São Paulo - SP.
**Ano VII, v.1 2026 | submissão: 24/07/2026 | aceito: 27/07/2026 | publicação: 30/07/2026**

# DIVERSIDADE MORFOFISIOLÓGICA DE RIZÓBIOS EM SOLOS DE CUANDO CUBANGO E SUA CORRELAÇÃO COM PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS

*MORPHOPHYSIOLOGICAL DIVERSITY OF RHIZOBIA IN SOILS OF CUANDO CUBANGO AND ITS CORRELATION WITH PHYSICOCHEMICAL PARAMETERS*

*DIVERSIDAD MORFOFISIOLÓGICA DE RIZOBIOS EN SUELOS DE CUANDO CUBANGO Y SU CORRELACIÓN CON PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS*

Analtina Samba Muatari Cuiva (Eng.ª) – Faculdade de Ciências Agrárias da Universidade José Eduardo dos Santos, analtinacuiva9@gmail.com – Engenheira Agrónoma. Endereço: Huambo, Huambo, Angola.
Orlis Bárbara Alfonso L. de Mola (PhD) – Faculdade de Ciências Agrárias da Universidade José Eduardo dos Santos, orlis.mola@ujes.ao – Engenheira Agrónoma e Mestre em Microbiologia do Solo. Endereço: Huambo, Angola.
José Gomes Ngando (MSc) – Faculdade de Ciências Agrárias da Universidade José Eduardo dos Santos (UJES), josengandu@hotmail.com – Endereço: Huambo, Angola.
Dália Mateus de Jesus (Eng.ª) – Faculdade de Ciências Agrárias da Universidade José Eduardo dos Santos (UJES), daltiaf212@gmail.com – Endereço: Huambo, Angola.
Ginhas Alexandre Manuel (PhD) – Faculdade de Ciências Agrárias da Universidade José Eduardo dos Santos (UJES), ginhas.manuel@ujes.ao – Endereço: Huambo, Angola.

**Resumo:** A diversidade e a densidade de rizóbios no solo influenciam diretamente a fertilidade e a produtividade agrícola, sendo determinantes para a sustentabilidade dos sistemas agroecológicos. Este estudo, realizado entre setembro de 2024 á maio de 2025, teve como objetivo avaliar a correlação entre parâmetros físico-químicos do solo (pH, humidade e condutividade elétrica) e a densidade e diversidade morfofisiológica de rizóbios em solos da província do Cuando Cubango. Amostras de solo foram coletadas nos municípios de Cuchi, Menongue e Cuito Cuanavale, e submetidas ao isolamento de rizóbios em meio YMA. As colônias obtidas foram caracterizadas morfologicamente e testadas quanto à alteração de pH com azul de bromotimol e coloração de Gram. Também foram determinados os parâmetros físico-químicos dos solos. Foram isoladas 36 colônias: 18 de Cuchi, 9 de Menongue e 9 de Cuito Cuanavale. Com base na análise de similaridade morfológica, 33,3% dos isolados assemelharam-se ao gênero Rhizobium, 33,3% a Bradyrhizobium, 5,5% a Mesorhizobium, 8,3% a Azorhizobium e 8,3% a Paenibacillus polymyxa. Houve correlação forte entre humidade e condutividade elétrica ($r = 0,85$; $p < 0,001$), mas a densidade microbiana apresentou correlações fracas com pH, humidade e condutividade. Observou-se correlação moderada e negativa entre número de colônias e pH ($r = –0,44$; $p = 0,01$). Os resultados sugerem que factores como presença de plantas hospedeiras, matéria orgânica e disponibilidade de nutrientes podem influenciar mais significativamente a presença de rizóbios no solo da região estudada.

**Palavras-chave:** Cuando Cubango; Diversidade Morfofisiológica; Parâmetros Físico-Químicos; Rizóbios; UFC.

**Abstract:** The diversity and density of rhizobia in the soil directly influence fertility and agricultural productivity, being decisive for the sustainability of agroecological systems. This study, conducted between September 2024 and May 2025, aimed to assess the correlation between physicochemical parameters of the soil (pH, moisture, and electrical conductivity) and the density and morphophysiological diversity of rhizobia in soils from the Cuando Cubango province. Soil samples were collected in the municipalities of Cuchi, Menongue, and Cuito Cuanavale, and subjected to rhizobia isolation in YMA medium. The obtained colonies were morphologically characterized and tested for pH alteration with bromothymol blue and Gram

staining. The physicochemical parameters of the soils were also determined. A total of 36 colonies were isolated: 18 from Cuchi, 9 from Menongue, and 9 from Cuito Cuanavale. Based on the analysis of morphological similarity, 33.3% of the isolates resembled the genus Rhizobium, 33.3% Bradyrhizobium, 5.5% Mesorhizobium, 8.3% Azorhizobium, and 8.3% Paenibacillus polymyxa. There was a strong correlation between humidity and electrical conductivity ($r = 0.85$; $p < 0.001$), but microbial density showed weak correlations with pH, humidity, and conductivity. A moderate and negative correlation was observed between the number of colonies and pH ($r = -0.44$; $p = 0.01$). The results suggest that factors such as the presence of host plants, organic matter, and nutrient availability may significantly influence the presence of rhizobia in the soil of the studied region.

**Keywords:** CFU; Cuando Cubango; Morphophysiological Diversity; Physicochemical Parameters; Rhizobia.

**Resumen:** La diversidad y la densidad de rizobios en el suelo influyen directamente en la fertilidad y la productividad agrícola y son determinantes para la sostenibilidad de los sistemas agroecológicos. Este estudio, realizado entre septiembre de 2024 y mayo de 2025, tuvo como objetivo evaluar la correlación entre los parámetros fisicoquímicos del suelo (pH, humedad y conductividad eléctrica) y la densidad y diversidad morfofisiológica de rizobios en suelos de la provincia de Cuando Cubango. Se recolectaron muestras de suelo en los municipios de Cuchi, Menongue y Cuito Cuanavale, y se sometieron al aislamiento de rizobios en medio YMA. Las colonias obtenidas se caracterizaron morfológicamente y se evaluaron en cuanto a la alteración del pH con azul de bromotimol y tinción de Gram. También se determinaron los parámetros fisicoquímicos de los suelos. Se aislaron 36 colonias: 18 de Cuchi, 9 de Menongue y 9 de Cuito Cuanavale. Con base en el análisis de similitud morfológica, el 33,3% de los aislados se asemejó al género Rhizobium, el 33,3% a Bradyrhizobium, el 5,5% a Mesorhizobium, el 8,3% a Azorhizobium y el 8,3% a Paenibacillus polymyxa. Hubo una fuerte correlación entre la humedad y la conductividad eléctrica ($r = 0,85$; $p < 0,001$), pero la densidad microbiana presentó correlaciones débiles con el pH, la humedad y la conductividad. Se observó una correlación moderada y negativa entre el número de colonias y el pH ($r = –0,44$; $p = 0,01$). Los resultados sugieren que factores como la presencia de plantas hospederas, la materia orgánica y la disponibilidad de nutrientes pueden influir más significativamente en la presencia de rizobios en el suelo de la región estudiada.

**Palabras clave:** Cuando Cubango; Diversidad Morfofisiológica; Parámetros Fisicoquímicos; Rizobios; UFC.

## 1. Introdução

A fixação biológica de nitrogênio (FBN) desempenha papel crucial na agricultura sustentável, especialmente em regiões tropicais. Rizóbios, bactérias simbióticas de leguminosas, promovem essa fixação e contribuem para a fertilidade do solo. Este estudo investiga a diversidade desses microrganismos e sua relação com variáveis edáficas na província do Cuando Cubango, região ainda pouco estudada sob o ponto de vista microbiológico. A crescente demanda por alternativas sustentáveis na agricultura tem intensificado os estudos sobre microrganismos benéficos do solo, especialmente os rizóbios,

devido à sua capacidade de fixação biológica do nitrogênio (FBN) em simbiose com leguminosas. A FBN é considerada um dos processos ecológicos mais relevantes nos ecossistemas terrestres, sendo mediada principalmente por bactérias do gênero Rhizobium e outras leguminosas simbióticas, coletivamente chamadas de rizóbios. Esses microrganismos são fundamentais para a sustentabilidade dos solos ao converterem o nitrogênio atmosférico ($N_2$) em formas assimiláveis pelas plantas, o que contribui diretamente para a produtividade agrícola, sobretudo em regiões tropicais e subtropicais (Hungria et al., 2022).

Além de promover a nutrição vegetal, os rizóbios participam ativamente da ciclagem de nutrientes, favorecem o aumento da fertilidade do solo e reduzem a dependência de fertilizantes nitrogenados industriais, promovendo uma agricultura mais eficiente e menos poluente (Bhattacharjee et al., 2022). A diversidade e a atividade desses microrganismos são influenciadas por fatores edáficos como pH, textura, matéria orgânica, umidade, condutividade elétrica, bem como por práticas de manejo. Por isso, a caracterização morfofisiológica de rizóbios associada à análise dos parâmetros físico-químicos do solo é essencial para compreender as interações solo-microrganismo, identificar estirpes eficientes e desenvolver estratégias para sua aplicação agronômica (Zilli et al., 2023).

Nesse contexto, destaca-se a província do Cuando Cubango, localizada no sudeste de Angola, que apresenta grande diversidade ecológica, com solos de composições variadas e clima tropical seco. Apesar de sua importância ambiental, essa região é pouco estudada sob a perspectiva microbiológica, particularmente em relação à diversidade de rizóbios nativos. A investigação desses microrganismos em ambientes com baixa intervenção antrópica pode revelar estirpes adaptadas às condições edafoclimáticas locais, com potencial para desenvolvimento de biofertilizantes regionais. Dessa forma, este trabalho tem como objetivo geral avaliar a correlação entre os parâmetros físico-químicos do solo (pH, humidade e condutividade elétrica) e a densidade e diversidade morfofisiológica de rizóbios em solos da província do Cuando Cubango.

Campo de pesquisa: Microbiologia do solo

**Justificativa do estudo**

O estudo sobre os microrganismos diastróficos é muito importante, principalmente em solos agrícolas ou com potencial para melhorar a fixação biológica de nitrogênio, o que contribui para o aumento da fertilidade do solo e a sustentabilidade agrícola. Compreender como as características físico-químicas do solo (pH, humidade e condutividade elétrica)

influenciam a diversidade e distribuição desses microrganismos é crucial para desenvolver estratégias de manejo adaptadas às condições locais. Na província do Cuando e Cubango, onde as práticas agrícolas são limitadas pela baixa fertilidade do solo, o conhecimento sobre rizóbios também pode contribuir para a escolha de leguminosas simbióticas mais eficientes adaptadas à estas condições, promovendo a recuperação e produtividade do solo. Por outro lado, este estudo também fornece uma base inicial para pesquisas futuras, incluindo análises moleculares e estratégias de biotecnologia agrícola tudo isso com finalidade de produção de biofertilizante.

## Objectivos

### Objectivo Geral

- Avaliar a correlação dos parâmetros físico-químicos do solo (pH, humidade e condutividade elétrica) sobre a densidade e diversidade morfofisiológica de rizóbios em solos de 3 municípios da província do Cuando Cubango.

### Objectivos Específicos

1. Isolar bactérias diazotróficas do tipo rizóbio a partir de amostras de solos do Cuando Cubango.
2. Identificar os possíveis gêneros de rizóbios encontrados nas amostras de solos com base nas características obtidas.
3. Correlacionar os parâmetros físico-químicos do solo (pH, conductividade eléctrica e humidade) com a densidade microbiana (UFC) nas diferentes amostras de solos.

## 2. Marco Teórico

### 2.1 Fixação biológica de nitrogênio

A fixação biológica de nitrogênio (FBN) é um dos processos ecológicos mais importantes nos ecossistemas terrestres, sendo mediada principalmente por bactérias do gênero Rhizobium e outras leguminosas simbióticas, coletivamente chamadas de rizóbios.

Os rizóbios são bactérias do solo capazes de estabelecer simbiose com plantas leguminosas, formando nódulos radiculares nos quais ocorre a fixação biológica de nitrogênio atmosférico em formas assimiláveis pelas plantas. Esse processo é essencial para a ciclagem do nitrogênio em ecossistemas naturais e agrícolas, especialmente em solos tropicais caracterizados por baixa disponibilidade desse nutriente (Hungria & Vargas, 2000).

Esses microrganismos desempenham um papel essencial na sustentabilidade dos solos, ao converterem o nitrogênio atmosférico ($N_2$) em formas assimiláveis pelas plantas, contribuindo significativamente para a produtividade agrícola, especialmente em regiões tropicais e subtropicais (Hungria et al., 2022)

A importância agronômica da FBN é evidente em sistemas agrícolas tropicais, onde os solos são naturalmente pobres em nitrogênio. A adoção de culturas leguminosas inoculadas com estirpes eficientes de rizóbios pode proporcionar ganhos de produtividade e melhorar a qualidade do solo, aumentando o teor de matéria orgânica e favorecendo a atividade microbiana benéfica (Moreira e Siqueira, 2021). Assim, a FBN atua como aliada no manejo sustentável dos solos.

Contribuição da FBN proveniente da associação de plantas e bactérias diazotróficas é o processo mais significativo de adição de nitrogênio no ecossistema terrestre e a utilização de microrganismos fixadores na agricultura, especialmente na soja. A inoculação de bactérias fixadoras de nitrogênio em plantas tem potencial de tornar-se uma técnica que pode ser aplicável a sistemas vegetais em condições de déficit hídrico, baixa fertilidade, ou ambas as condições.

Isto pode ser possível, pois, além da FBN, existem outros benefícios que podem ser apresentados pelas bactérias diazotróficas. Estes microrganismos podem atuar como rizobactérias promotoras do crescimento de plantas (RPCP), destacando se a produção de hormônios vegetais, como auxinas, giberelinas e citocininas e também atuar na solubilização de fosfatos (Bazzicalupo e Okon, 2000).

### 2.2. Os parâmetros físico-químicos do solo

Os parâmetros físico-químicos do solo, como pH, textura, teor de matéria orgânica, capacidade de troca catiônica e disponibilidade de nutrientes, exercem forte influência sobre a sobrevivência, distribuição e diversidade dos rizóbios. O pH do solo, em particular, é considerado um dos fatores mais determinantes, pois afeta diretamente o crescimento bacteriano e a eficiência da nodulação (Fageria & Baligar, 2008).

### 2.3. Aplicação Agronômicas da diversidade de Rizóbios

A compreensão da diversidade morfofisiológica de rizóbios em relação às propriedades físico-químicas dos solos é essencial para o desenvolvimento de inoculantes bacterianos

adaptados às condições locais, que podem aumentar a eficiência da fixação de nitrogênio em leguminosas cultivadas.

Estirpes adaptadas às condições locais tendem a apresentar maior eficiência simbiótica, contribuindo para o aumento da produtividade das leguminosas e para a sustentabilidade dos sistemas agrícolas (Hungria et al., 2013)

Além do aspecto agronômico, a conservação da diversidade rizobiana possui relevância ambiental, uma vez que esses microrganismos participam ativamente da manutenção da fertilidade do solo e da redução do impacto ambiental causado pelo uso excessivo de fertilizantes químicos. Assim, estudos em solos de Cuando e Cubango são estratégicos para o desenvolvimento de práticas agrícolas sustentáveis adaptadas à realidade local (Peoples et al., 2009).

## 3. Matérias e Métodos

A investigação foi realizada no Departamento de Produção e Proteção de Plantas da Faculdade de Ciências Agrárias (FCA), da Universidade José Eduardo dos Santos (UJES), e compreendeu duas fases principais: uma etapa de campo, dedicada à coleta de amostras de solo, e uma etapa laboratorial, voltada ao processamento das amostras e realização das análises.

As amostras de solo foram coletadas nos municípios de Menongue, Cuchi e Cuito Cuanavale, anteriormente pertencentes ao Cuando Cubango e, após a reestruturação territorial de janeiro de 2025, redistribuídos entre as novas províncias de Cuando e Cubango. A seleção da área seguiu os objetivos do Projeto SASSCAL 2.0, que prioriza o estudo de Ferralsols e Arenossolos, amplamente representados na região. A variabilidade edáfica local, associada a diferentes condições ambientais, favorece a análise integrada da microbiota do solo e sua correlação com atributos físicos e químicos.

Os pontos de coleta foram georreferenciados com auxílio de GPS, utilizando o sistema de referência WGS 84 (EPSG:4326). As coordenadas obtidas permitiram a elaboração do mapa de localização da área de estudo. As condições edafoclimáticas da região, de clima tropical seco a subúmido, com temperaturas médias entre 20 °C e 25 °C e precipitação anual variando de 600 mm a 1.200 mm, influenciam diretamente a composição da microbiota. Os solos da região, predominantemente Latossolos e Areias Quartzosas, caracterizam-se por baixa fertilidade natural, elevada acidez e textura arenosa (FAO, 2004; Instituto Geográfico e Cadastral de Angola, 2013).

RCMOS – Revista Científica Multidisciplinar O
Saber. ISSN: 2675-9128. São Paulo - SP.
**Ano VII, v.1 2026 | submissão: 24/07/2026 | aceito: 27/07/2026 | publicação: 30/07/2026**

A coleta das amostras seguiu o protocolo de Silva et al., (2020), com retirada de solo da camada de 0–20 cm em áreas com histórico de cultivo de leguminosas. O solo foi acondicionado em sacos plásticos estéreis, armazenado em caixas térmicas com gelo e mantido a 4–8 °C até o laboratório, garantindo a viabilidade microbiana.

No Laboratório de Microbiologia do Solo da FCA/UJES, as amostras foram submetidas a análises físico-químicas e microbiológicas. As análises físico-químicas seguiram os métodos descritos por Teixeira et al. (2017) e Embrapa (2017), abrangendo pH (suspensão 1:2 em água destilada, medido com pHmetro digital), condutividade elétrica (mesma suspensão, medida com condutivímetro digital) e teor de humidade (método gravimétrico, segundo Gee e Bauder, 1986).

Cálculo do teor de humidade gravimétrica (U) foi calculada a partir da seguinte fórmula:

$$U\% = ((Pu - Ps) / Ps) \times 100$$

Onde:
U% = Humidade percentual do solo;
Pu = Peso húmido da amostra de solo (g);
Ps = Peso seco da amostra de solo (g).



Figura 1: Aparelhos usados para obter os resultados dos parâmetros físico-químicos: pHmetro, estufa e condutivímetro.
Fonte: Elaboração própria (2024).

As análises microbiológicas incluíram o isolamento seletivo de rizóbios em meio YMA com vermelho do Congo, segundo Vincent (1970). As amostras passaram por diluições seriadas ($10^{-1}$ a $10^{-8}$) em solução salina estéril (NaCl 0,85%), e alíquotas de 0,1 ml foram semeadas por

RCMOS – Revista Científica Multidisciplinar O
Saber. ISSN: 2675-9128. São Paulo - SP.
**Ano VII, v.1 2026 | submissão: 24/07/2026 | aceito: 27/07/2026 | publicação: 30/07/2026**

espalhamento em placas de Petri, incubadas a 28 ± 2 °C por 3 a 5 dias. Colônias com morfologia típica foram selecionadas e repicadas para obtenção de cultivos puros.

A quantificação das bactérias foi expressa em Unidades Formadoras de Colônias por grama de solo seco (UFC.g$^{-1}$), considerando-se placas com 30 a 300 colônias. Os valores foram transformados em $\log_{10}$ e utilizados em análises estatísticas. A caracterização morfofisiológica seguiu protocolo da Embrapa (2011), com avaliação de forma, cor, elevação, consistência, brilho e metabolismo ácido/alcalino em meio com azul de bromotimol. A coloração de Gram foi utilizada como critério preliminar de identificação, considerando que rizóbios são Gram-negativos.



Figura 2: Isolamento seletivo de rizóbios a partir do solo no laboratório em meio asséptico.
Fonte: Elaboração própria (2024).

A atribuição preliminar do gênero bacteriano foi realizada conforme Brenner et al., (2005), integrando morfologia, fisiologia e coloração de Gram. Os dados obtidos foram organizados em formulários individuais de avaliação e submetidos a análise estatística. A frequência relativa de ocorrência dos gêneros foi calculada e o teste de correlação de Pearson (nível de significância de 5%) foi aplicado para verificar a existência de relações entre os parâmetros físico-químicos (pH, condutividade elétrica, umidade) e a densidade de rizóbios (UFC.g$^{-1}$, $\log_{10}$), utilizando-se o software IBM SPSS Statistics versão 25.0.

## 4. Resultados e Discussão

Foram isoladas 36 colônias viáveis de rizóbios a partir das amostras de solo colectadas nos três municípios estudados, sendo 18 isolados em Cuchi, 9 em Menongue e 9 em Cuito Cuanavale. A predominância de isolados em Cuchi pode estar relacionada a condições edáficas

mais favoráveis à sobrevivência e proliferação bacteriana, como pH próximo da neutralidade e menor salinidade, que favorecem a atividade microbiana (Moreira & Siqueira, 2006; Alcobia, 2024).

A caracterização morfofisiológica revelou ampla diversidade fenotípica entre os isolados. As colônias apresentaram diferentes formas, elevação, opacidade, produção de muco e tempos de crescimento, com variações consistentes entre os municípios. Em Cuchi, foram observadas colônias predominantemente translúcidas e mucóides, com crescimento rápido, enquanto em Menongue e Cuito Cuanavale destacaram-se colônias opacas, lentas e com menor produção de muco. Essas diferenças podem estar associadas à diversidade de microambientes do solo e à adaptação local das populações bacterianas (Zilli et al., 2023; Silva, 2023).

A coloração de Gram indicou que 92% dos isolados eram Gram-negativos, como esperado para rizóbios típicos, enquanto 8% apresentaram coloração Gram-positiva, com destaque para Paenibacillus polymyxa, reconhecida por seu potencial como bactéria promotora de crescimento vegetal (PGPV), mesmo não formando nódulos simbióticos (Cunha, 2023; Bhattacharjee, 2022).

A avaliação metabólica em meio YMA com azul de bromotimol revelou que 58,2% dos isolados acidificaram o meio, alterando a coloração para amarela característica associada à produção de ácidos orgânicos por estirpes de Rhizobium e Mesorhizobium (Cardoso, 2022). Os demais isolados mantiveram a coloração azul, indicando reação alcalina, associada a Bradyrhizobium e Azorhizobium, que produzem compostos nitrogenados básicos (Oliveira, 2021).

A atribuição de gêneros baseada em características morfológicas, fisiológicas e na coloração de Gram permitiu identificar que 28% dos isolados pertencem ao gênero Rhizobium, 61% a Bradyrhizobium, 11% a P. Polymyxa. Os demais não foram classificados com precisão, sugerindo a presença de estirpes não descritas ou com perfis atípicos (Silva, 2023; Brenner, 2005). A predominância de Bradyrhizobium em Cuito Cuanavale confirma sua adaptação a solos mais ácidos, como relatado por Oliveira (2021) e Santos (2023).

As contagens de unidades formadoras de colônias (UFC.$g^{-1}$) variaram entre 3,778 e 8,623 ($log_{10}$), indicando elevada densidade microbiana Figura 1. Os maiores valores foram observados em Cuchi, coerentes com sua menor acidez e baixa condutividade elétrica. Esses resultados refletem solos com potencial biológico favorável à atividade rizobiana (Moreira & Siqueira, 2006; Silva, M.C. et al., 2020).

Os parâmetros físico-químicos dos solos revelaram pH entre 5,77 e 6,8, com valores mais próximos da neutralidade em Cuchi. A condutividade elétrica (CE) foi maior em Cuito

RCMOS – Revista Científica Multidisciplinar O
Saber. ISSN: 2675-9128. São Paulo - SP.
**Ano VII, v.1 2026 | submissão: 24/07/2026 | aceito: 27/07/2026 | publicação: 30/07/2026**

Cuanavale (1,114 dS/m), indicando maior salinidade, enquanto em Menongue e Cuchi os valores permaneceram abaixo de 0,1 dS/m. A humidade variou amplamente entre os municípios: Cuito apresentou valores extremos (até 66,6%), enquanto Cuchi e Menongue registraram níveis entre 2% e 8%. A acidez e a salinidade elevadas em Cuito podem explicar a menor densidade de rizóbios nesse município (Cunha, 2023; Santos, 2023).

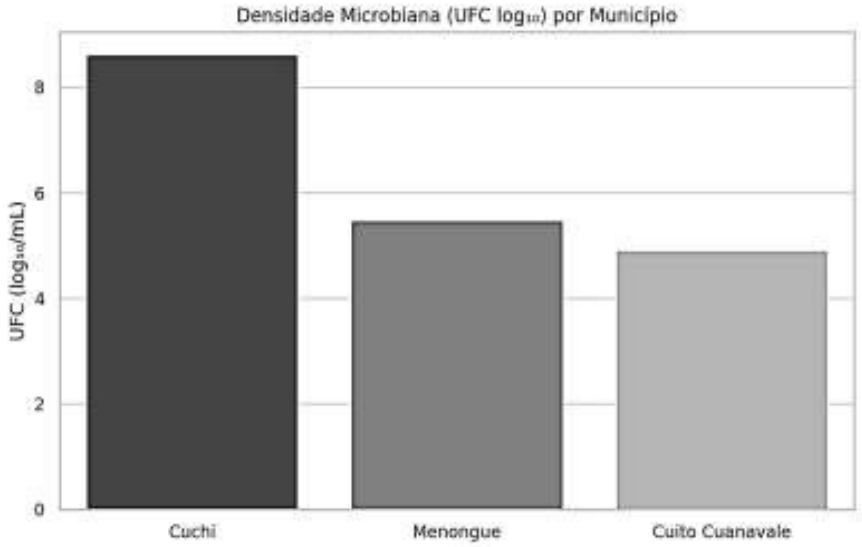



Figura 3: Densidade microbiana (UFC $\log_{10}$) por município.
Fonte: Elaboração própria (2024).

A Tabela 1 apresenta os coeficientes de correlação de Pearson entre os parâmetros físico-químicos do solo e a densidade de rizóbios. A análise revelou uma correlação negativa moderada entre pH e número de colônias (r = –0,44; p = 0,01), como ilustrado na Figura 2. Esse resultado está de acordo com estudos que indicam maior atividade rizobiana em solos ligeiramente ácidos (Oliveira et al., 2021).

Tabela 1: Matriz de correlação de Pearson entre variáveis edáficas e densidade de rizóbios (UFC/$\log_{10}$UFC).

| **Variáveis** | **Nº de colônias** | **$\log_{10}$(UFC/mL)** | **pH** | **Condutividade** | **Humidade** |
|---|---|---|---|---|---|
| Nº de colônias | 1,00 | 0,06 | 0,01 | 0,94 | 0,68 |
| $\log_{10}$(UFC/mL) | –0,32 | 1,00 | 0,72 | 0,59 | 0,52 |
| pH | –0,44 | –0,06 | 1,00 | 0,05 | 0,01 |
| Condutividade | 0,01 | 0,09 | –0,33 | 1,00 | $8{,}2\times10^{-11}$ |
| Humidade | 0,07 | 0,11 | –0,44 | 0,85 | 1,00 |

Fonte: Elaboração própria (2024).

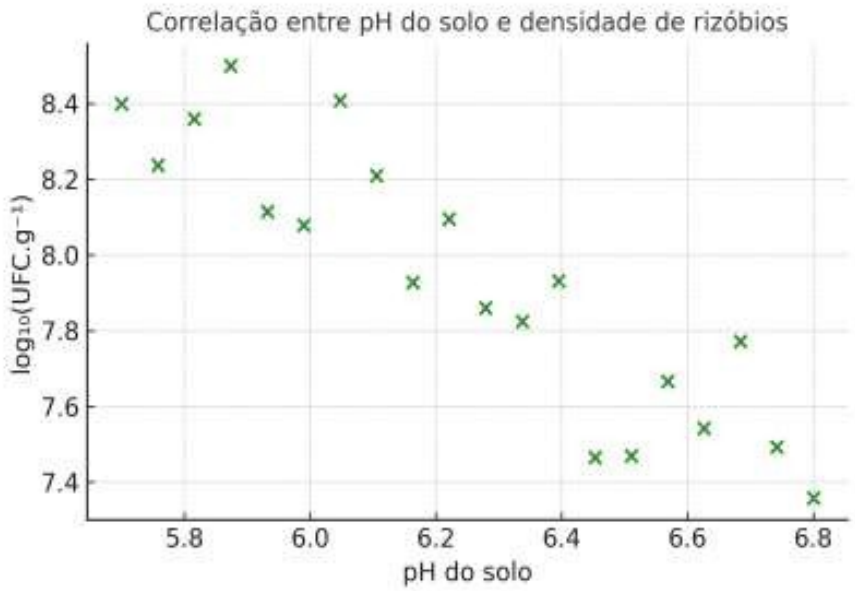



Figura 4: Correlação entre o pH do solo e a densidade de rizóbios, expressa em $\log_{10}$(UFC.g$^{-1}$). Observa-se uma tendência negativa entre as variáveis, com r = –0,44 (p = 0,01), indicando que solos ligeiramente mais ácidos favorecem a presença de rizóbios.

Fonte: Elaboração própria (2024).

As correlações entre UFC e CE ou humidade foram fracas, sugerindo que esses fatores isoladamente não explicam a variabilidade da densidade microbiana. Esse resultado reforça a ideia de que a densidade rizobiana é influenciada por uma combinação de fatores, incluindo não apenas os parâmetros físico-químicos do solo, mas também aspectos bióticos, como a presença de plantas hospedeiras, a qualidade da matéria orgânica e as interações com outras populações microbianas (Silva, 2022; Alcobia, 2024). Além disso, variações espaciais e temporais do microambiente do solo podem afetar significativamente a distribuição e atividade desses microrganismos, dificultando a atribuição de causalidade direta a um único fator edáfico.

Por outro lado, observou-se uma correlação positiva forte entre CE e humidade (r = 0,85; p < 0,001), evidenciando a influência conjunta desses parâmetros sobre o microambiente edáfico. Esses resultados indicam que a condutividade elétrica do solo, frequentemente associada à concentração de sais solúveis, está intimamente ligada à disponibilidade hídrica no ambiente edáfico. Estudos em solos tropicais mostraram que a CE aparente (ECa) tende a aumentar em conjunto com o teor de umidade, devido à mobilidade de íons em presença de água (Costa et al., 2014). Esse mecanismo sugere que solos mais úmidos apresentam maior solubilização de nutrientes e sais, criando condições favoráveis à atividade microbiana em geral, embora isso não se traduza necessariamente em aumento da densidade rizobiana. Portanto, a forte correlação observada entre CE e umidade reforça a importância de considerar

a dinâmica conjunta desses fatores ao avaliar a fertilidade microbiológica do solo e seu potencial para sustentar comunidades rizobianas funcionais.

## 5. Considerações Finais

Os resultados deste estudo evidenciaram uma diversidade significativa de rizóbios nos solos da província do Cuando Cubango, com predominância dos gêneros Rhizobium e Bradyrhizobium, além da presença de estirpes do gênero Paenibacillus polymyxa. A identificação de isolados não atribuídos a gêneros conhecidos indica a possibilidade de ocorrência de estirpes nativas ainda pouco exploradas, com potencial biotecnológico.

A análise estatística revelou que os parâmetros físico-químicos avaliados (pH, condutividade elétrica e humidade) apresentaram correlação fraca ou moderada com a densidade rizobiana, sugerindo que esses fatores, isoladamente, não são determinantes na distribuição e abundância dessas bactérias no solo. A correlação negativa entre pH e UFC reforça a sensibilidade dos rizóbios a variações na acidez do solo, embora não de forma exclusiva.

Diante disso, conclui-se que factores bióticos, como a presença de plantas hospedeiras, a composição da matéria orgânica e as interações microbianas locais, desempenham um papel mais relevante na estruturação das comunidades rizobianas. Esses achados reforçam a importância de considerar a ecologia do solo de forma integrada, especialmente ao selecionar estirpes promissoras para programas de inoculação e uso em sistemas agrícolas sustentáveis e adaptados às condições locais de Angola.

## Agradecimentos

Este estudo contou com o apoio financeiro do Projeto ANGSOIL – SASSCAL 2, que viabilizou as atividades de campo e as análises laboratoriais. Agradece-se ainda a colaboração das equipas técnicas envolvidas nas diferentes fases da investigação.

## Referências

ALCOBIA, V. F. Relação da qualidade química e biológica do solo com a produtividade do milho: sementeira direta vs. mobilização convencional. 2024. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Instituto Superior de Agronomia, Universidade de Lisboa, Lisboa, 2024. Disponível em: http://hdl.handle.net/10400.5/98643. Acesso em: 20 abr. 2024.

ANGOLA PRESS (ANGOP). Notícias sobre desenvolvimento socioeconômico no Cuando Cubango. Luanda, 2021–2022. Disponível em: https://www.angop.ao. Acesso em: 20 abr. 2024.

BAZZICALUPO, M.; OKON, Y. Associative and endophytic symbiosis. In: PEDROSA, F. O. et al. (ed.). Nitrogen fixation: from molecules to crop productivity. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2000.

BHATTACHARJEE, R. B. Biological nitrogen fixation and its relevance to sustainable agriculture. In: Environmental Sustainability. [S.l.]: Springer, 2022. p. 85–96. DOI: https://doi.org/10.1007/s42398-021-00197-9.

BRENNER, D. J.; KRIEG, N. R.; STALEY, J. T. (ed.). Bergey's manual of systematic bacteriology. 2. ed. New York: Springer, 2005. v. 2: The Proteobacteria, Part C: The Alpha-, Beta-, Delta-, and Epsilonproteobacteria. DOI: https://doi.org/10.1007/0-387-29298-5.

COSTA, F. G.; SOUZA, E. R.; SILVA, J. B. da. Relação entre condutividade elétrica aparente e umidade do solo em diferentes sistemas de cultivo. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 38, n. 5, p. 1485–1494, 2014. DOI: https://doi.org/10.1590/S0100-06832014000500023.

CUNHA, A. L. da. Efeitos de fatores edáficos na distribuição de rizóbios em solos tropicais. 2023. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2023.

CUNHA, F. F. Rizobactérias promotoras de crescimento vegetal em ambientes de estresse hídrico e salino: potencial e aplicações. Revista de Ciências Agrárias, p. 341–352, 2023.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). Protocolo de caracterização morfofisiológica de estirpes de rizóbios. Brasília, DF: Embrapa, 2011. Disponível em: https://www.embrapa.br. Acesso em: 20 abr. 2024.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). Agro-ecological zoning guidelines. Rome: FAO, 2004.

FAGERIA, N. K.; BALIGAR, V. C. Ameliorating soil acidity of tropical oxisols by liming for sustainable crop production. Advances in Agronomy, v. 99, p. 345–399, 2008. DOI: https://doi.org/10.1016/S0065-2113(08)00407-0.

GEE, G. W.; BAUDER, J. W. Particle-size analysis. In: KLUTE, A. (ed.). Methods of soil analysis. Part 1: Physical and mineralogical methods. 2. ed. Madison: American Society of Agronomy; Soil Science Society of America, 1986. p. 383–411. DOI: https://doi.org/10.2136/sssabookser5.1.2ed.c15.

HUNGRIA, M. et al. Biological nitrogen fixation: recent advances and future challenges in the context of climate change. Soil Biology and Biochemistry, 2022. Art. 104594.

HUNGRIA, M.; VARGAS, M. A. T. Environmental factors affecting $N_2$ fixation in grain legumes in the tropics. Field Crops Research, v. 65, n. 2–3, p. 151–164, 2000. DOI: https://doi.org/10.1016/S0378-4290(99)00084-2.

INSTITUTO GEOGRÁFICO E CADASTRAL DE ANGOLA (IGCA). Atlas geográfico de Angola. Luanda: IGCA, 2013.

KLOEPPER, J. W.; SCHROTH, M. N. Plant growth-promoting rhizobacteria on radishes. In: PROCEEDINGS OF THE 4TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON PLANT PATHOGENIC BACTERIA. [S.l.], 1981.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. Microbiologia e bioquímica do solo. 2. ed. Lavras: UFLA, 2006.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. Microbiologia e bioquímica do solo. 3. ed. Lavras: UFLA, 2021.

OLIVEIRA, C. S. Functional and taxonomic diversity of rhizobial communities under different pH soil conditions. Applied Soil Ecology, v. 164, 2021.

PEOPLES, M. B. et al. The contributions of nitrogen-fixing crop legumes to the productivity of agricultural systems. Symbiosis, v. 48, p. 1–17, 2009. DOI: https://doi.org/10.1007/BF03179980.

SANTOS, M. R. dos. Caracterização de comunidades microbianas em ambientes com diferentes níveis de acidez. 2023. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2023.

SILVA, A. P. Rizobactérias e sua influência na disponibilidade de nutrientes e sustentabilidade agrícola. Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável, 2022.

SILVA, J. F. Unidentified rhizobial strains in tropical soils: a reservoir of novel symbiotic genes. Archives of Microbiology, v. 205, 2023.

SILVA, M. C.; PEREIRA, M. G.; SOUZA, I. F. Coleta e preparo de amostras de solo para análise microbiológica. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 2020. DOI: https://doi.org/10.36783/18069657rbcs20190187.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. Manual de métodos de análise de solo. 3. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2017.

VINCENT, J. M. A manual for the practical study of root-nodule bacteria. Oxford: Blackwell Scientific Publications, 1970. (International Biological Programme Handbook, n. 15).

ZILLI, J. E. Rhizobia-legume symbiosis under changing environmental conditions: a Brazilian perspective. Agriculture, Ecosystems & Environment, v. 355, art. 108550, 2023. DOI: https://doi.org/10.1016/j.agee.2023.108550.