

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGROECOLOGIA
MESTRADO EM AGROECOLOGIA

**PRODUTIVIDADE E QUALIDADE DE MANDIOCA, COM ADUBAÇÃO
VERDE E APLICAÇÃO DE ÁCIDO HÚMICO, EM SOLO TROPICAL
PROPENSO A COESÃO**

Autor: Hélio Dantas de Almeida

SÃO LUÍS

2017

AUTOR: Hélio Dantas de Almeida

Engenheiro Agrônomo

**PRODUTIVIDADE E QUALIDADE DE MANDIOCA, COM ADUBAÇÃO
VERDE E APLICAÇÃO DE ÁCIDO HÚMICO, EM SOLO TROPICAL
PROPENSO A COESÃO**

Documento, apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Agroecologia da Universidade Estadual do Maranhão, para a obtenção do Título de Mestre em Agroecologia.

Orientador: Prof^o Dr. Emanuel Gomes de Moura

SÃO LUÍS

2017

Almeida, Hélio Dantas de.

Produtividade e qualidade de mandioca, com adubação verde e aplicação de ácido húmico, no solo tropical propenso a coesão./Hélio Dantas de Almeida – São Luís, 2017.

65 f

Dissertação (Mestrado) – Curso de Agroecologia, Universidade Estadual do Maranhão, 2017.

Orientador: Prof. Dr. Emanuel Gomes de Moura

1.Mandioca biofortificada. 2.Ácido húmico. 3.Sustentabilidade. 4.Aléias I.
Título.

CDU: CDU 633.493:631.461

HÉLIO DANTAS DE ALMEIDA

**PRODUTIVIDADE E QUALIDADE DE MANDIOCA, COM ADUBAÇÃO
VERDE E APLICAÇÃO DE ÁCIDO HÚMICO, NO SOLO TROPICAL
PROPENSO A COESÃO**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Agroecologia da Universidade Estadual do Maranhão, para obtenção do título de Mestre em Agroecologia.

Aprovado em: 29/09/2018

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Emanuel Gomes de Moura

Universidade Estadual do Maranhão (Orientadora)

Prof. Dr. Fabrício de Oliveira Reis

Universidade Estadual do Maranhão (UEMA)

Profa. Dra. Katia Danielle Araújo Lourenço Viana

Universidade Federal do Maranhão (UFMA)

OFEREÇO E DEDICO

A todos aqueles que, como eu, se indignam com a pobreza e a degradação ambiental.

AGRADECIMENTOS

À **Deus**, pelo dom da vida, por me conceder saúde e estar sempre ao meu lado. Pela graça de ser pai ao longo dessa jornada e ter foco e força para continuar.

À minha esposa **Josilene Dias Cantanhede** pelo apoio ao longo desse tempo e por ser minha maior incentivadora e porto seguro nos momentos de aflição. Obrigado pelo companheirismo e amor!

À minha filha **Marina Cantanhede de Almeida**, pelos sorrisos de estímulo nos momentos de desânimo.

À minha tia **Maria Rita Dantas**, que tem, durante todos esses anos, cuidado de mim e zelado pelo meu sucesso. Obrigado Pelo Carinho!

Às minhas **tias e minha mãe** que não estão mais aqui, mas de onde estão enviam seu amor e carinho, e deixaram suas lições.

Ao meu pai **Hélio da Costa Almeida** que sempre me apoia nos meus projetos de vida e por todo incentivo ao longo dessa jornada.

Ao meu orientador **Emanuel Gomes de Moura** pela oportunidade de aprender.

Ao professor **Heder Braun** pela paciência e orientações em estatística. Sua ajuda foi determinante na conclusão deste trabalho.

A **Marlon Gomes da Costa**, pela ajuda na análise dos dados e realização de testes.

A **Marcelo Marinho, Anágila, Francielle, Katia e Elimilton**, pelo apoio técnico e pelos ensinamentos. Vocês foram meus professores de mestrado. Muito Obrigado!

Aos colegas do curso de Pós-graduação em Agroecologia, em especial a turma de Mestrado 2015.

Aos meus colegas de trabalho e à Gabriela Heckler, pela paciência e compreensão durante esse último ano.

Aos professores do curso de Pós-graduação em Agroecologia da UEMA

À Rayanne por toda paciência e colaboração nas atividades diárias. Que Deus te abençoe sempre!

À FAPEMA pela concessão da bolsa e financiamento do projeto nestes dois anos de estudo e trabalho.

À UEMA e ao Programa de Pós-Graduação em Agroecologia.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	10
LISTA DE TABELAS	10
RESUMO	12
ABSTRACT	13
CAPÍTULO I	
REFERENCIAL TEÓRICO	14
INTRODUÇÃO GERAL	15
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
2.1 Cenário regional	18
2.2 Aspectos sociais/econômicos relacionados aos aspectos regionais	20
2.3 Mandioca	22
2.4 Biofortificação	24
2.5 Mandioca Biofortificada	26
2.6 Sistemas em aléias	27
2.7 Ácidos Húmicos	29
2.8 Sustentabilidade	30
3 REFERÊNCIAS	
BIBLIOGRÁFICAS	32
CAPITULO II	
Abstract	43
Introduction	44
Material and methods	46
Results	51
Discussion	52
Conclusion	55
References	56
Tables and Figures	61
Anexos	63

LISTA DE FIGURAS

Páginas

Figura 1	Ordination diagram produced by principal component analysis of physical and chemical attributes from the 0-10 cm soil layer. Treatments: LC - Leucaena + Clitoria; LA - Leucaena + Acacia; GC - Gliricidia + Clitoria; GA - Gliricidia +Acacia; SB – Sum of bases; CEC - cation exchange capacity; V% – base saturation; FLF - free light fraction; IALF - intra-aggregate light fraction.	62
----------	--	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Physical and chemical attributes from the 0-10 and 10-20 cm soil layers	61
Tabela 2	Yield and nutritional components in experimental treatments between leguminous with/without humic acids.	61
Tabela 3	Yield and nutritional components in experimental treatments between leguminous with/without humic acids for combination pair	62

Produtividade e qualidade de mandioca, com adubação verde e aplicação de ácido húmico, no solo tropical propenso a coesão.

Autor: Hélio Dantas de Almeida

Orientador: Prof. Dr. Emanuel Gomes de Moura

RESUMO

No solo do trópico úmido, que é submetido a um alto grau de intemperismo, o maior desafio para a agricultura tropical é evitar práticas insustentáveis que podem levar ao desmatamento de áreas novas quando os nutrientes do solo estão esgotados. O objetivo deste trabalho foi estudar as interações dentro do sistema de aléias, avaliando os efeitos da combinação de biomassa de leguminosas e aplicação de ácido húmico, nas propriedades químicas do solo, teor de matéria orgânica e no rendimento e qualidade da mandioca biofortificada, em um solo tropical com baixa fertilidade natural, com foco em sustentabilidade da cultura. A hipótese é de que esse sistema tenha efeitos positivos sobre esses parâmetros da cultura. O experimento de cultivo de mandioca biofortificada em aléias consistiu em dez tratamentos e quatro repetições dispostas em blocos ao acaso, como segue: L + C, leucaena + clitoria; L + A, leucaena + acácia; G + C, glirícidia + clitoria; G + A, glirícidia + acácia; e solo nu, todos com e sem ácido húmico. Nossos resultados confirmam que a biomassa de leguminosas pode melhorar os níveis de bases catiônicas trocáveis e matéria orgânica em solos tropicais. Nestas circunstâncias, a produtividade da mandioca pode ser aumentada em até 60% por aplicação de ácido húmico, mas as interações negativas entre a cultura e biomassa de leguminosa de espécies como *Acacia mangium* podem neutralizar os efeitos positivos do ácido húmico no crescimento das raízes. Uma combinação de biomassa de leguminosas com alta liberação de nitrogênio e menor efeito antagonista, como glirícidia + clitoria, podem aumentar o teor de amido e proteína na mandioca. No entanto, o conteúdo de beta-caroteno não foi afetado pelos tratamentos.

Palavras-chave: Sustentabilidade. Adubação Verde. Mandioca Biofortificada. Aléias

ABSTRACT

In the soil of the humid tropics, which is subjected to a high degree of inclement weather, the greatest challenge for tropical agriculture is to avoid unsustainable practices that can lead to deforestation of fresh areas when soil nutrients are depleted. The objective of this work is to study how interactions within the alley system, aiming to evaluate the effects of the combination of legume biomass and humic acid on the soil chemical properties, organic matter content and no rents and biofortified cassava quality, in a tropical soil with low fertility, focusing on the sustainability of culture. The cassava biofortified alley cultivation experiment consisted of 10 treatments and 4 replications arranged in randomized blocks, as follows: L + C, leucaena + clitoria; L + A, leucaena + acacia; G + C, gliricidia + clitoria; G + A, gliricidia + acacia; and bare soil, all with and without humic acid. Our results confirm that legume biomass can improve as cationic bases and an organic matter in tropical soil. Under these circumstances, cassava biofortified productivity can be increased up to 60% by application of humic acid, but as negative interactions between a legume crop and biomass of species such as *Acacia mangium* can neutralize the positive effects of humic acid on root growth. A combination of biomass of legumes with high nitrogen release and lower antagonistic effect, such as gliricidia + clitoria, may increase starch and protein content in cassava. However, the beta-carotene content was not affected by the treatments.

Keywords: Agroecological Systems. Green Adubation. Biofortified Cassava. Alley Crop. Sustainability.

REFERENCIAL TEÓRICO

CAPITULO I

INTRODUÇÃO GERAL

Nas últimas cinco décadas, embora a população mundial tenha quase que dobrado, o desenvolvimento da produção de alimentos permitiu a queda dramática na proporção das pessoas com fome (MAZOYER e ROUDART, 2010). Não há dúvida de que esse importante feito foi alcançado por meio da implantação de agrossistemas simplificados, onde as altas produtividades resultam da exploração de poucas espécies melhoradas, altamente produtivas e dependentes do uso massivo de insumos químicos e de energia fóssil (PORTO-GONÇALVES, 2006). Agora, nos próximos 50 anos, a agricultura irá enfrentar outro conjunto de desafios. A população continuará a crescer, o que implicará no aumento da demanda por alimentos processados, carnes, laticínios e peixes, todos eles oriundos de processos produtivos com alta capacidade de pressionar os ecossistemas (ALENCAR et. al., 2013). Ao mesmo tempo a agricultura estará submetida a uma acirrada competição por terras, água e energia, além da pressão para urgentemente diminuir os efeitos negativos da produção de alimentos sobre o ambiente. Têm-se, portanto, hoje em dia, um cenário desafiador no sentido de construir sustentabilidade em sistemas de produção agropecuários – agrossistemas (MENDEZ et. al., 2013).

No modelo atual, o intenso uso de insumos industrializados, atrelado ao incorreto manejo dos solos e das águas na agricultura, vêm gerando impactos ambientais, que se refletem em resultados agronômicos e econômicos indesejáveis (SAMBUICHI et. al., 2012). Os ecossistemas nativos vêm sendo substituídos por sistemas agropecuários baseados no “plantation” de culturas de valor de mercado elevados, porém com perda de características ambientais desejáveis e aumento exagerado nos custos de produção. Estes são os chamados, agrossistemas, que “criaram” um novo espaço ambiental na zona rural, onde o foco é a cultura comercial, e há a retirada de tudo o que pode prejudicar o empreendimento. Este modelo teve impacto direto no modo de vida da sociedade no meio rural, com novas relações de trabalho, de posse da terra, de acesso a recursos, habitats, geração de renda, deslocamentos sociais e exclusão (PETERSEN, 2009).

Agricultores Familiares, em muitas regiões, principalmente nas regiões Centro-Oeste, Norte e Nordeste, perderam suas fontes de renda, se deslocaram à grandes centros urbanos, gerando novos problemas sociais; a produção de alimentos para as cidades ficou ameaçada devido à diminuição de culturas locais e microrregionais (OLIVEIRA, 2004),

pois as áreas se destinaram aos plantios de commodities; e, recursos naturais como rios, florestas, espécies animais e vegetais foram degradados (SAMBUICHI et. al., 2012) e consumidos, para gerar mais renda.

Com essa perspectiva a agricultura ecológica surge com uma abordagem ecossistêmica integrada para o manejo das paisagens agrícolas e constitui uma estratégia de conservação e de desenvolvimento rural, com base em quatro pilares principais: Desenvolvimento de sistemas agrícolas mais sustentáveis e produtivos, melhoria dos meios rurais de subsistência, conservação da biodiversidade, ampliação e aproveitamento dos serviços ecossistêmicos (ALTIERI, 2001) e (MOURA, 2006).

Nesse “novo” ambiente, as técnicas de manejo e de produção ecológicas, que vêm sendo cada vez mais difundidas no meio rural (NOLASCO, et.al., 1997), podem fazer frente a este desafio, apoiando a produção sustentável, com menores custos de produção, o que pode trazer resultados desejáveis. Estes agrossistemas surgidos, devem respeitar as características ambientais e ecológicas das regiões, e como tal devem ser analisados e estudados no sentido de obtenção de melhores resultados, mais sustentáveis e economicamente viáveis (ALTIERI, 2001).

Para os agrossistemas maranhenses deve ser aplicada uma nova abordagem que leve em conta as especificidades locais inerentes ao trópico úmido, principalmente relativos à fragilidade dos solos, à rigurosidade do clima, aos riscos de desequilíbrios ambientais com reflexos na diminuição da biodiversidade e à realidade sócio-econômica dos agricultores (AGUIAR et al., 2009). Em síntese, as principais variáveis que afetam a sustentabilidade e a produtividade dos agrossistemas na região que são as seguintes: i) a baixa eficiência no uso dos nutrientes vegetais diminuída pela coesão do solo e pela elevada taxa de remoção destes elementos do perfil; ii) a baixa capacidade de inversão de capital dos agricultores na sua grande maioria incapazes de aquisição dos inputs sintéticos; iv) e a falta de atividades produtivas integradas que façam uso de toda a extensão do período chuvoso e permita um melhor aproveitamento, neste período, das áreas cultivadas, devem ser consideradas (MOURA et. al., 2009).

Como forma de aproveitar a interação entre o clima e a vegetação a favor do manejo de agrossistemas tropicais e para atender às condicionantes locais exigidas pelas várias dimensões da sustentabilidade, este trabalho conduzido na região avalia como o rápido crescimento das árvores leguminosas e a grande extensão do período chuvoso

podem e devem ser aproveitados para aumentar a produtividade dos agrossistemas regionais (MOURA, 2009) Neste sentido o uso de biomassa verde para adubação (adubação verde) é utilizado como uma técnica viável na busca da sustentabilidade dos solos agrícolas (ALCÂNTARA et al., 2000) e, sistemas de plantio direto de diversas culturas na palha de leguminosas em aléias, que permitem cortes dos galhos das árvores frequentemente com produção de biomassa verde, podem contribuir para a eco-eficiência e para a produtividade dos sistemas de integração lavoura-pecuária porque potencialmente oferecem as seguintes vantagens: regeneração da fertilidade dos solos de baixa aptidão natural, fornece biomassa para adubação verde e alimentação animal alternativa, e aumenta a taxa anual de sequestro de carbono (BARRETO e FERNANDES, 2001) e (MOURA, 2009). Dessa forma, os sistemas em Aléias são considerados promissores por requererem menor uso de insumo externo que as monoculturas, por serem similares aos ecossistemas naturais (ALTIERI, 2002) e contribuem para a geração de sustentabilidade dos sistemas.

Os Plantios em Aléias tem sua origem exatamente na intenção de se aproveitar recursos naturais como insumos para a produção comercial, de forma a obter uma diminuição de custos na oferta de nutrientes para as plantas e possibilitar um manejo mais eficiente da água e dos solos tropicais. Diversas culturas foram já testadas em experimentos e em plantios comerciais no Brasil e no mundo. Heineman et al. (1997), avaliou no Quênia oito espécies de árvores da família das leguminosas em plantios em Aléias com milho (*Zea mays*). O rendimento de grãos foi positivamente correlacionado à quantidade de folhas aplicadas no solo. Também Peres et. al., (2006) estudou em condições do semiárido nordestino brasileiro o uso de aléias para cultura do milho, também com bons resultados. Há bastante tempo também, experimentos e estudos vêm sendo realizados para avaliar os plantios em aléias em outras culturas, como a mandioca, que é uma cultura regionalmente muito importante, que está sendo plantada em um sistema de cultivo consorciado com leguminosas (LOSE, S.J. et al., 2003).

Porém, este alimento que é base alimentar e econômica da vida de muitas famílias no mundo inteiro e representa boa parte da atividade rural de muitas comunidades, apresenta baixas produtividades e com valores nutricionais que podem ser melhorados. Isto se deve a fatores como: variedades de baixo potencial produtivo e nutritivo, uso de técnicas de cultivo inadequadas (GREENWOOD et al, 1991), falta de apoio técnico às

atividades rurais e dificuldades de acesso a mercados e ações de agregação de valor para seus produtos (NASSAR, 2006). Daí, o desenvolvimento de estratégias e ações para modificar esse cenário se justificam, pois construiriam novos modelos melhores adaptados às necessidades dos agricultores que praticam a mandiocultura.

O cultivo em aléias, utilizando-se leguminosas como fornecimento de biomassa para o solo combinado com a aplicação de ácido húmico, visa exatamente constituir uma alternativa para cultivo de mandioca, de baixo custo, com fácil manejo e que pode apresentar bons resultados agronômicos e nutricionais. Estes resultados ratificam a importância do produto Mandioca Biofortificada como alternativa alimentar na região.

Diversos alimentos são objeto de pesquisas e desenvolvimento, com foco em incremento de características desejáveis via processos biológicos internos da planta. É o que chama-se de Biotificação dos alimentos, que pode ser genética ou agronômica. (SBCS, 2016). A mandioca biofortificada foi introduzida nessa vertente, com enfoque no suprimento de carências de Pró-vitamina A (Betacarotenos) identificadas em populações. Através de processos genéticos de melhoramento, foram desenvolvidas variedades adaptadas às condições ambientais, e que são cultivadas em sistemas tradicionais.

Assim, o presente trabalho teve por finalidade estudar a hipótese de: efeitos positivos do uso de leguminosas em plantios em aléias, na qualidade e produtividade da cultura da mandioca; utilização de biomassa verde e ácido húmico como adubos no desenvolvimento das plantas e raízes de mandioca e reposição de perdas de nutrientes dos solos; e, efeito da aplicação de ácido húmico nos teores de betacaroteno, amido e proteínas das raízes da mandioca.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Cenário regional

A região onde está localizado o município de Chapadinha – MA, região nordeste do Estado, em uma zona de presença de cerrados em transição com semi-árido, com extensão territorial em torno de 3247,4 km² (MARANHÃO, 2002 e IBGE, 2010). A ocupação demográfica está em torno de 22,54 habitantes por km². O clima local é tropical, quente e úmido e a pluviosidade média é de 2.100 mm/ano, distribuídos em: uma estação

chuvosa de janeiro a junho e uma estação seca, com intensa falta de pluviosidade, que vai de julho a dezembro (NOGUEIRA, 2012). Esta região apresenta intensa insolação, em torno de 200 dias por ano, o que acelera a perda de água do solo através de evaporação (PASSOS et al., 2016). Os solos são intemperizados, classificados em diferentes tipos, de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos: Argissolos, Plintossolos e Latossolos, (AZEVEDO J.R. de et al., 2014) formados por intensos ciclos de secagem e umedecimento, que causaram coesão e compactação de solo, o que dificulta uma drenagem adequada (AGUIAR et al., 2010). A vegetação da região tem características de cerrado em composição com vegetação de semi-árido, respeitando a característica de transicionismo da região. Porém, a intensificação de um modelo de agricultura que se baseia no desmatamento e substituição de vegetação em grandes áreas, tem causado a retirada dessa vegetação característica da região.

Estas situações têm impacto direto na forma de vida de comunidades rurais locais, que até a década de 80 do sec. XX eram a maioria da população da região (IBGE, 1980), porém com a instalação desse novo modelo de exploração de terras, e o êxodo rural provocado, a zona rural do município responde hoje por pequena apenas 28% da população total, caracterizando uma urbanização da região e um esvaziamento dos espaços rurais (IBGE, 2010). Esse movimento populacional, ajudou a provocar um empobrecimento da população da região e quase que o desaparecimento de formas tradicionais de agricultura praticados há centenas de anos localmente, como a roça no toco e a agricultura de vazante (MAZOYER e ROUDART, 1933 e ASSIS, 2006 e SCHLESINGER, 2006), sendo que hoje em dia o Índice de Desenvolvimento Humano do município gira em torno de 0,604, abaixo da média do Estado do Maranhão e também do Brasil (IBGE, 2010).

A roça no toco, respondeu, durante muitas décadas, pelo sustento do trabalhador rural e sua família, que exploravam a terra usando métodos rudimentares, como a queimada para desmatamento e a capina/roçagem manuais como tratos culturais, com a vantagem de que esse tipo de atividade apresentava baixo custo e facilidade de execução, e durante alguns anos apresenta até boas produtividades. O problema é que havia uma carga excessiva de poluição atmosférica que diminui a qualidade do ar e traz aumentos de temperaturas localizados (MAZOYER e ROUDART, 1933), seleção de espécies indesejadas que são mais resistentes ao fogo, esgotamento de nutrientes do solo devido

ao uso deste insumo sem recomposição orgânica, baixa disponibilidade de terras para todo ano se abrir novas roças e dificuldades de comercialização devido às baixas produções e sazonalidade destas. (PRESOTI, 2008). Diversos países no mundo passaram e ainda passam por problemas semelhantes, onde os modelos utilizados tradicionalmente não mais são capazes de sustentar as populações. (MARTINE, 1991). Daí os novos sistemas de produção, que estão sendo pensados e implementados no sentido de suprir essa demanda por produções cada vez maiores, com cada vez menos disponibilidade de áreas.

2.2 Aspectos sociais/econômicos relacionados aos aspectos regionais

Tradicionalmente, a agricultura praticada na região era a de subsistência, utilizando-se de técnicas rudimentares e uso de mão de obra familiar. O modelo consistia em: escolha da área, retirada de vegetação natural através de roçagem e derrubada de árvores (brocar), uso do fogo para limpeza dos restos da broca, plantio de diversas culturas nessa área (arroz, feijão, mandioca, milho, melancia, abóbora), capinas manuais para retirada de vegetação daninha e colheita (WOLF, 1976). Essas atividades eram, e ainda são, executadas a partir de outubro, visando a estação em que as chuvas são mais frequentes (Janeiro a Junho).

A Agricultura usando mão de obra familiar, de subsistência, era capaz de garantir o sustento da família por todo o ano, mantendo o estoque de alimentos e ainda permitia venda ou troca de excedentes por outros gêneros de necessidades (DE FREITAS, 2015). Porém era uma agricultura onde rapidamente o solo se empobrecia, causando queda nas produções, gerando itinerância, muitas vezes usando terras arrendadas (DE FREITAS, 2015); a prática da queimada, com emissão de grandes quantidades de gases do efeito estufa na atmosfera e empobrecimento da camada superior do solo (REDIN et al., 2011); e somando-se à estas situações a baixa qualidade de vida no meio rural, com ausência de infraestrutura básica como água potável encanada, saneamento ambiental, energia elétrica, estradas de acesso (MOTA et. al., 2015), causaram o declínio da prática dessa atividade, e abriram espaço para a entrada novos modelos, entre eles está o agronegócio de grãos.

Esta atividade, teve sua presença intensificada na região a partir da década de 90 do século XX. Agricultores oriundos de outras regiões do Brasil, como Paraná, Rio Grande Sul e Santa Catarina, começaram a expandir e/ou substituir seus plantios nestes

Estados por áreas maiores e com potencial produtivo e logístico igualmente elevados (GASPAR e DE PAULA ANDRADE, 2015). As regiões do Baixo Parnaíba e Leste Maranhense se ofereceram como opção para a implantação destes empreendimentos por terem terras agricultáveis e mecanizáveis, a preços baixos e apoio para crédito e logística (GASPAR, 2010).

O modelo implementado é o de monocultura, com plantio de grãos, principalmente soja e milho, com uso intenso de insumos químicos, mecanização e sementes modificadas visando a exportação e produção industrial. Esse modelo usa grandes áreas que foram adquiridas a preços baixos, formando grandes fazendas de produção de grãos.

Essa mudança no perfil do agricultor da região, e na modalidade de agricultura praticada na região trouxeram também mudanças na ocupação dos espaços urbanos das cidades da região. Houve um atrativo de novos negócios para atender as necessidades do agronegócio, e muitas pessoas foram atraídas para as cidades, causando aumento populacional, de arrecadação de impostos e do número de empregos (GASPAR, 2013)

Trouxe, também, mudanças climáticas na região, pois a retirada da vegetação nativa, e muitas vezes a destruição de nascentes de cursos d'água trouxe um aumento na temperatura ambiente na região, causando uma sensação de aumento de calor além da diminuição da oferta de água em riachos e pequenas lagoas (NOGUEIRA et al., 2012)

Mas talvez o grande impacto tenha sido social, com o movimento populacional da zona rural, para as zonas urbanas das cidades da região e de outras regiões e, principalmente, a diminuição em grandes níveis da atividade de agricultura tradicional de subsistência. Estes fenômenos, estão intimamente ligados. A aquisição das terras para a implementação de novos empreendimentos do agronegócio foi feita junto a pequenos e antigos proprietários, eram justamente nestas terras que a agricultura tradicional era praticada. Ou seja, a agricultura tradicional ficou sem espaço para ser praticada (BOTELHO, 2010). Sem ter como praticar a agricultura que conhecia, o homem do campo e sua família se viram obrigados a buscarem sustento nas cidades, que cresciam à custa do sucesso do agronegócio. Com a falta de apoio real e de mais e melhores políticas públicas de assistência técnica, comercialização e acesso a serviços públicos, que complementem o apoio financeiro aos pequenos agricultores familiares tradicionais, dado pelo PRONAF, não há uma perspectiva de mudança desse quadro a curto prazo (DA

SILVA, 2012). Sendo nesse cenário, de suma importância, o desenvolvimento de novos modos de se fazer agricultura familiar, com incremento de produção de culturas tradicionais, com metodologia moderna de plantio e tratos culturais.

2.3 Mandioca

A mandioca, *Manihot esculenta Crantz*, planta da família das euphorbiaceae, originária da América do Sul. Constitui um dos principais alimentos energéticos para mais de 700 milhões de pessoas, principalmente nos países em desenvolvimento. Mais de 100 países produzem mandioca, sendo que o Brasil participa com 10% da produção mundial (é o segundo maior produtor do mundo) (ALVES DE ALBUQUERQUE, 2012). De fácil adaptação, a mandioca é cultivada em todos os estados brasileiros, situando-se entre os oito primeiros produtos agrícolas do país, em termos de área cultivada, e o sexto em valor de produção (IBGE, 2010). Segundo a CONAB (2002), a produção de mandioca no Brasil foi de 22,6 milhões de toneladas, ocupando uma área plantada de 1,7 milhões de hectares, com um rendimento médio de 13,3 toneladas de raízes por hectare. Sendo os principais estados produtores: Pará com 17,9%, a Bahia 16,7%, Paraná 14,5%, Rio Grande do Sul 5,6% e Amazonas com 4,3%, que somados representam 59,0% da oferta brasileira de raízes de mandioca. Isso confere a esse produto, importância econômica, social e estratégica para o Brasil. No Maranhão, a mandioca é base da alimentação da população, respondendo pelo fornecimento de grande parte do carboidrato consumido pelas pessoas. Também é plantado em diversos sistemas em todas as regiões do Estado, tendo grande variedade de utilizações na alimentação humana, garantindo segurança alimentar.

Cultivada de forma tradicional, por pequenos agricultores familiares de subsistência, em dois sistemas: o sistema de Verão, em que a mandioca é plantada no início dos períodos de chuvas nas regiões e fica até o início do período das chuvas seguinte, sendo considerada a mandioca de ciclo curto; e os produtores também usam o plantio de inverno, também conhecido como ciclo longo, que é plantado no período das chuvas, e fica até o final do período de chuvas seguinte.

Conforme Bezerra (2002) e Sousa, Aguiar e Lôbo (2011), a principal característica nutricional desse alimento é possuir um alto teor de Amido, em torno de 37% de sua composição, o que lhe confere características nutricionais importantes, e é uma planta perene e arbustiva, que apresenta raízes tuberosas e folhas ricas em proteínas,

vitaminas e nutrientes (MONTAGNAC; DAVIS; TANUMIHARDJO, 2009), o que pode representar uma vantagem para alimentação de animais. Um hectare de mandioca, com produtividade média brasileira (em torno de 14 ton/ha) é capaz de render até 7 toneladas de amido, o que em comparação com o rendimento dessa mesma área plantada com milho, que é em torno de 4 toneladas por hectare, representa uma maior eficácia na utilização de áreas e insumos por parte dos produtores (VIPOUX, 2008).

A mandioca possui um vasto número de espécies, entretanto apenas duas do gênero *Manihot* são cultivadas, a mandioca brava (*Manihot esculenta*) e a mandioca mansa (*Manihot aipim*) Seu consumo se dá na forma de farinhas, para a “Mandioca Brava”, ou simplesmente “Mandioca”, que são nomes pelos quais as variedades utilizadas para produção de farinha são conhecidas em determinadas regiões; ou sob a forma *in natura*, seja cozida ou frita, para variedade conhecida como “Mandioca Mansa”, “Aipim” ou “Macaxeira” (XAVIER et al. 1996) O que determina a forma de utilização é basicamente o teor de Ácido Cianídrico, que tem efeito tóxico em determinadas concentrações. Sánchez (2004), definiu em seus estudos que as variedades de mandioca podem ser classificadas quanto ao teor de HCN na raiz como: mansas ou macaxeira, com teor abaixo de 180 mg kg⁻¹ de HCN; intermediárias, com teores entre 180–300 mg kg⁻¹; e bravas ou mandioca, com teor maior que 300 mg kg⁻¹. As primeiras variedades possuem teores elevados de HCN, portanto não podem ser consumidas *in natura*. Já a Macaxeira, possui teores baixos, ou quase inexistentes dessa substancia, portanto se presta ao consumo *in natura* (OLIVEIRA et. al., 2012))

Na região de Chapadinha, a cultura da mandioca ocupa posição de destaque na produção de alimentos, sendo uma das culturas mais plantadas por pequenos agricultores, com 1.500 hectares plantados e com produção de 4,5 ton. A produtividade, porém, está bem abaixo da média do Brasil, que gira em torno de 14 toneladas, e também abaixo da média do Estado do Maranhão, que é de 8,3 ton. Algumas comunidades têm na produção de farinha uma atividade tradicional e de geração de renda e sustentabilidade, além de ser fator de união cultural. (IBGE, 2013) (IBGE SIDRA, 2016).

Outra utilidade importante da cultura da mandioca é na alimentação animal. Sua parte aérea e as cascas são de grande valor nutricional e servem à alimentação principalmente de pequenos animais ruminantes (CAVALCANTI E ARAUJO, 2000). Outra característica importante dessa alimentação, é que ela é fornecida em um período

de pouca oferta natural de alimento, que é nos meses de colheita da mandioca (julho a setembro). As folhas, conforme demonstrou Cavalcanti e Araujo (2000) possuem altos teores nutricionais e são bastante palatáveis. As cascas, secas ao sol, podem ser utilizadas também para alimentação de animais como caprinos, suínos e ovinos, melhorando a dieta destes, pois apresentam elevados teores de proteínas, conforme Ferreira et. al. (2007) estudou em análises de valores como fonte de alimentação de co-produtos da mandioca, analisando ramas da parte superior da planta de mandioca.

Porém, conforme nos mostra estudos de Howeler (1981), a mandioca é uma cultura extremamente extratora de nutrientes do solo, principalmente Potássio, Nitrogênio e Fósforo, o que provoca o empobrecimento desses solos no decorrer dos ciclos de cultivo. Essa situação é uma das causas de decréscimos de produtividade ao longo dos anos de cultivo de mandioca em uma mesma área (HOWELER , 1991). Daí, hoje em dia, se usa a agricultura nômade para produção de mandioca, buscando-se sempre novas áreas com fertilidades melhores; ou se intensifica o uso de insumos químicos externos ao sistema para suprir as demandas da mandiocultura (SILVA et. al., 2013). Esse cenário, representa a falta de sustentabilidade da cultura, e o sistema proposto nesse experimento visa, também, gerar sustentabilidade ao cultivo da mandioca, através da reposição de biomassa no solo, recompondo-o estruturalmente e melhorando a oferta de nutrientes.

Com essa importância estabelecida, justifica-se então, que a mandioca seja objeto de estudos e inovações, sempre com enfoque na sustentabilidade e eficiência do alimento. Daí, iniciou-se entre outros processos, os estudos e introduções de variedades melhoradas (CHAVÉX et. al., 2005). E um desses processos de melhoramento é a biofortificação.

2.4 Biofortificação

Em muitos países do mundo, populações enfrentam problemas de carências alimentares. Seja pela ingestão de quantidades de alimentos abaixo do recomendado, ou seja, pela baixa concentração de nutrientes essenciais contidas nesses alimentos; ou ainda, se alimentam pouco e ainda com alimentos de baixo valor nutricional ou ausência de classes de alimentos importantes nas refeições. Assim detectou-se: carências de ferro em crianças em idade escolar brasileiras no estudo de Almeida et. al (2004), que analisou crianças do sudeste brasileiro; essas mesmas carências de Fe nas pesquisas de Spinelli et.

al. (2004), em crianças e adolescentes de cinco regiões do Brasil; carências de vitamina A em crianças e adultos em diversos países como De Queiroz et al (2013) e Escobal (2001) comprovam, pesquisando essas carências em populações de crianças no nordeste do Brasil, Estado da Paraíba e na Argentina nas províncias de Chaco, Corrientes e Buenos Aires, respectivamente, em comunidades com populações em risco social; ou ainda as carências de selênio detectadas em crianças em São Paulo, por Silva et. al. (2011).

Governos de todo o mundo se interessam em suprir essas deficiências, visando a diminuição de problemas de saúde advindos dessas deficiências nutricionais. No Brasil, temos um exemplo bastante conhecido, que é a adição de iodo no sal de cozinha, que é obrigatório desde 1953, e regulamentado desde 1974 (BRASIL, 1974) e que supre a deficiência desse micronutriente na população, ajudando assim a combater as consequências dessa carência no organismo humano; outro exemplo comum aqui no Brasil, é a adição de flúor na água tratada, exigido em legislação (BRASIL, 2011), para ajudar no combate a deficiências desse elemento, que favorece, por exemplo, o aparecimento das cáries dentárias.

Então, diversos alimentos são objeto de pesquisas e desenvolvimento, com foco em incremento de características desejáveis via processos biológicos internos da planta. É o que chama-se de Biorrefinamento dos alimentos, que pode ser feita via melhoramento genético, chamada de biofortificação genética, ou através de técnicas de produção como adubação, que estimula produção interna pela planta de determinadas substâncias desejáveis, que é chamada de biofortificação agrônômica (SBCS, 2016).

A base da metodologia para biofortificação agrônômica é a adoção de técnicas de manejo, principalmente adubação, que usam nutrientes para acentuar a produção interna (pela planta) de substâncias que tragam as características desejáveis. No caso da metodologia para biofortificação genética, usa-se a seleção e cruzamento de espécies, através da observação e seleção daqueles espécimes que apresentem características desejáveis acentuadas, então novas variedades vão sendo criadas e testadas para se transformarem em produtos comerciais, já com as características desejáveis estabilizadas (SBCS, 2016).

Assim foi feito com variedades de batatas doces, como a Beureagrd (EMBRAPA, 2014), de Milho, como a BRS 4104 (EMBRAPA, 2014), de feijão como a BRS Pontal e a BRS Agreste (EMBRAPA, 2014) que foram desenvolvidas na vertente

da criação dos alimentos funcionais, com objetivo de suprir carências alimentares e/ou incrementar dietas nutricionais, tanto no Brasil quanto em outros países.

2.5 Mandioca Biofortificada

Devido à grande importância estratégica da mandioca e toda a gama de produtos que podem ser fabricados tendo-a como base, hoje, os programas de melhoramento genético estão focados nessa biofortificação, visando o incremento de teores de betacarotenos na Mandioca de mesa (CARVALHO et al., 2012) e de licopeno na Mandioca para indústria (CARVALHO et al., 2011)

O IAC – Instituto Agrônomo de Campinas SP, foi um dos precursores da introdução de variedades de mandioca biofortificadas, tendo iniciado pesquisas ainda na década de 70 do século XX, e lançado a variedade comercial IAC 576-70. A EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, com pesquisas iniciadas no fim da década de 90 e lançamento de sua primeira variedade comercial, a BRS Jari, em 2003, representa hoje um importante papel nas pesquisas e introdução de variedades de mandioca biofortificada, sendo que sua atuação se dá através da rede BioFort, em vários Estados do Brasil, com introdução de inúmeras variedades. A empresa de pesquisa estima que em torno de 1,5 milhão de famílias hoje plantem alimentos biofortificados no Brasil. Devido a seu alto rendimento e aceitabilidade, rapidamente se difundiu, chegando a outras regiões do Brasil. No Maranhão, os primeiros registros desse tipo de cultura, remonta ao início do século XXI, principalmente com a batata doce biofortificada, variedade Beauregard, com teores elevados de amido (EMBRAPA, 2013).

As variedades de mandioca biofortificadas atendem uma demanda detectada em estudos, a respeito da carência de vitamina A no organismo das pessoas (SOUZA, et. al., 2002). Essa carência pode ser suprida através de um incremento da qualidade da alimentação, e o melhoramento genético trouxe a possibilidade de realizar esse incremento através da melhoria dos teores de precursores da vitamina A, no caso os betacarotenos, na mandioca (UNDERWOOD & SMITASII, 1999). Os elevados teores de betacarotenos, conferem cor amarela à mandioca, dando-lhe uma característica própria. A presença de betacarotenos, propicia um aumento na produção de vitamina A pelo organismo humano, contribuindo para a oferta desse nutriente, e a melhora da capacidade visual, o sistema imunológico e diminuição da mortalidade infantil. (BOUIS e WELCH,

2010). Por isso, diversos programas vêm sendo implementados no mundo todo utilizando-se a mandioca biofortificada como apoio preventivo à deficiências dessa vitamina em escolas e comunidades rurais (TALSMA et al. e LAFRANO et al., 2013).

Hoje as principais variedades de mandioca biofortificadas utilizadas no Brasil são: BRS Jari, BRS Gema de Ovo, BRS Dourada, BRS Pão da China, BRS 396, BRS 397 e BRS 399, estas de polpa amarela, ricas em betacarotenos; BRS 400 e BRS 401, que possuem polpa rosada, ricas em Licopeno; e a BRS 398 de raiz creme (EMBRAPA, 2014).

No caso da variedade BR 473 (EMBRAPA, 2003), usada nesse experimento, seu ciclo é longo, com baixos teores de ácido cianídrico, o que a caracteriza como mandioca mansa, e é chamada regionalmente de Macaxeira, foi introduzida pela Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia entre os anos de 2005/2006, apresenta elevados teores de amido e betacarotenos, sendo também utilizada para a produção de farinha (SOARES, 2011). Em testes realizados, SILVA et al. (2014) por exemplo, encontrou teores de amido na ordem de 19 a 33%, e teores de betacarotenos na ordem de 1,4 a 22 $\mu\text{g/g}$, o que lhe confere características de sabor, textura e cor bem próprias. Estas apresentam também boa aceitação por parte dos consumidores, conforme TALSMA et al. (2013) em testes e análises sensoriais no Quênia.

2.6 Sistemas em aléias

Para fazer frente aos desafios de construir sustentabilidade nos espaços rurais, diversas técnicas e mecanismos têm sido desenvolvidos. Hoje em dia, a pesquisa na área da agroecologia caminha a passos largos, e o foco têm sido o entendimento dos sistemas agropecuários, como ecossistemas, onde, segundo ALTIERI, (1999), as relações e interações ecológicas entre os diversos seres, vivos e não-vivos, do ambiente têm papel fundamental no estabelecimento de projetos sustentáveis.

Dentre estas técnicas de produção agroecológicas, temos o Plantio em Aléias (Alley Crops), que é um sistema agroflorestal que visa combinar os plantios de culturas comerciais, com as árvores plantadas em intervalos tecnicamente definidos, sendo estas, de preferência, de alto potencial de geração de biomassa e outros atributos desejáveis (BARRETO & FERNANDES, 2001). Esta técnica, vem sendo utilizada desde o final do século XX, conforme Heineman et al. (1997), por exemplo, que evidenciou no Quênia

o efeito de espécies de leguminosas, como fornecedora de biomassa, na produtividade, no solo e nos teores foliares de N, P e K, tem como foco principal criar uma fonte de fornecimento de matéria orgânica constante, que visa incrementar as características físicas e químicas do solo, favorecendo o estabelecimento de culturas econômicas viáveis, que se utilizam dessa biomassa e dos recursos fornecidos pelas árvores para deles extraírem os nutrientes necessários à sua sobrevivência (QUEIROZ, 2007) gerando sustentabilidade. Também, através de sistema de fixação biológica de nitrogênio, as leguminosas fornecem nitrogênio e as culturas comerciais se aproveitam desse nutriente, conforme nos mostra Mafongoya et. al. (1998).

Queiroz et al. (2007) também define que a simplicidade de implementação e manejo, os custos baixos de implementação, e os bons resultados a médio e longo prazo, fazem do Plantio em Aléias um importante sistema no sentido de oferecer a pequenos e médios produtores mais uma alternativa ecológica de agricultura.

Diversas culturas vêm sendo implementadas utilizando-se esse sistema no mundo todo. E também diversas espécies de leguminosas vêm sendo estudadas com foco no potencial para consorciamento em sistemas de aléias com culturas comerciais. Entre essas espécies, grande parte são leguminosas, devido à sua capacidade de produzir biomassa e também à Fixação Biológica de Nitrogênio. *Destacam-se: Leucaena leucocephala, L. collinsii, Gliricidia sepium, Calliandra calothyrsus, Sesbania sesban, S. grandiflora, Senna siamea e S. spectabilis, Acácia Mangium, Clitoria fairchildiana.* Dentre as culturas utilizadas nesse sistema, temos o milho, que é o mais estudado e utilizado, e temos também o feijão estudado por Oliveira et. al. (2015) na Amazônia; café (PAULO e EDISON, 2001); as pastagens, que Balbino et. al (2001) e Nicodemo et. al. (2010); e a mandioca que Talsma et al. e Lafrano et al. (2013) avaliaram no Quênia.

As leguminosas utilizadas apresentam características próprias. A Leucena, apresenta rápida decomposição e tem uma alta capacidade de fornecer nutrientes para o solo (MOURA, 2014) porém não oferece uma cobertura muito boa devido a essa rapidez de decomposição. Apresenta também intensa alelopatia, causada pela mimosina, substância abundante nessa planta, que inibe o crescimento de outras plantas ao seu redor (WILLIAMS e HOAGLAND, 2007). A Gliricidia, também é conhecida como leguminosa de alta capacidade, pois fornece boa quantidade de biomassa ao solo (MOURA, 2014), e por ter uma decomposição mais lenta, ainda fornece uma boa

cobertura do solo, impedindo crescimento de daninhas e perdas para o ambiente de água e nutrientes. A Acácia, que por sua estrutura, apresenta lenta decomposição e, portanto, fornece boa cobertura do solo mas não é boa fornecedora de nutrientes, ainda tem um efeito alelopático muito forte, causado pela substância chamada Lupenona, que está presente nos tecidos dessa planta (LUZ et. al., 2010). O sombreiro (Clitória), também é uma leguminosa de baixa capacidade de fornecimento de insumos, pois apresenta lenta decomposição (MOURA, 2014), porém apresenta um efeito bastante importante que é o antagonismo ao efeito alelopático da Leucena (AGUIAR et. al., 2010)

Este sistema representa uma tecnologia agroecológica para produção agrícola, com sustentabilidade, conservando o solo e mantendo fornecimento constante de matéria orgânica e nutrientes.

2.7 Ácidos Húmicos

Outra técnica bastante difundida hoje em dia, é a utilização de biofertilizantes (MEDEIROS, 2003), que são fertilizantes biológicos, ou seja, fruto da decomposição e processamento natural de resíduos orgânicos, internos ou externos ao sistema produtivo, e que são utilizados como fonte de nutrientes e catalisadores de processos desejáveis na produção.

Existem diversos fertilizantes biológicos que estão sendo estudados e aplicados já em culturas comerciais apresentando resultados. Vai desde o esterco animal, que fornece nutrientes para as culturas implantadas e melhora a estrutura dos solos, como estudou Oliveira et al. (2002) em cultura de hortaliças, e também Canesin e Correa (2006) com fruteiras, até o uso de biomassa verde de espécies arbóreas como fornecedora de matéria orgânica para o solo e nutrientes para as plantas, estudados por Leite et al.(2008) e Gomes de Moura et al. (2008), com seus experimentos e análises em plantios em aléias, usando-se leguminosas como fornecedoras de biomassas, em plantios de milho. Hoje em dia, graças aos estudos que se intensificaram no início do sec. XXI, como os de Oliveira et al. (2001) que estudou essa aplicação em hortaliças como a alface e a repolho; Tamiso et. al. (2004), que avaliou os efeitos desses tipos de biofertilizantes em tomateiros, as substâncias húmicas, principalmente os Ácidos Húmicos, são um dos biofertilizantes utilizados hoje em sistemas de produção ecológica sustentável. Estes compostos são fruto da decomposição de matéria orgânica de origem animal (P.M. DA CONCEIÇÃO et al.,

2008), principalmente da decomposição de matéria orgânica originária de minhocas. Estudos mais recentes, como os de Pinheiro et. al., (2010) e Silva et. al. (2011), que ratificam os estudos mais antigos, e também colocam esse biofertilizante, usado sozinho ou combinado, como um insumo bastante viável para a produção agroecológica.

Estes ácidos, extraídos conforme Instrução Normativa do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, IN nº 28 de 2007 e Machado (1999), que contempla a determinação do extrato húmico total, dos ácidos húmicos e dos ácidos fúlvicos baseados no procedimento da diferença de solubilidade e precipitação com ácidos e bases, são ricos em substâncias desejáveis para a planta, como nitrogênio, hormônios, outros nutrientes, e uma vez introduzidos nas plantas e/ou nos solos podem trazer benefícios para estes, favorecendo germinação (TAMISO *et. al.*, 2004), desenvolvimento (PINHEIRO et. al., 2010) e produtividade dessas culturas (FERRARA e BRUNETTI, 2008), induzindo o crescimento radicular da mandioca. Sua aplicação pode ser feita tanto diretamente no solo e incorporado (ANDRADE et. al., 2003) como em adubação foliar (RODRIGUES et. al., 2014), e também podem ser combinadas com outras substâncias e/ou organismos desejáveis para essa aplicação, como por exemplo as bactérias diazotróficas usadas no estudo de Rodrigues et. al. (2014), no sentido de potencializar os efeitos indutores de crescimento de raízes e agregar mais efeitos desejáveis ao processo.

2.8 - Sustentabilidade

A conscientização a respeito de problemas sócio-ambientais enfrentados pela sociedade moderna, tem contribuído para a construção de uma consciência ecológica coletiva, assim como para uma análise mais profunda do relacionamento entre sociedade e natureza e da desintegração dos conhecimentos da economia, da ecologia, da sociologia e da biologia, no sentido de uma aproximação das ciências naturais e sociais (DA COSTA LIMA, 1997). Destas análises surge o tema Sustentabilidade e desenvolvimento sustentável, que é definido, em sua versão mais difundida, pela Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (CMMAD, 1988) com o seguinte enunciado: “é aquele que atende às necessidades do presente sem comprometer as gerações futuras a atenderem as suas próprias necessidades”.

Trazendo essa definição para o ambiente agropecuário, podemos concluir que sustentabilidade em agricultura tem relação com a capacidade do sistema solo-planta-ambiente de suprir as demandas nutricionais das culturas e, permitir que isso seja feito de forma contínua no tempo e que seja economicamente viável, ecologicamente correta e socialmente justa.

Nesse sentido, o desenvolvimento de estratégias ecológicas para produção agrícola, se torna ainda mais importante. Estas estratégias devem ir ao encontro do objetivo de sustentar as culturas no decorrer do tempo, satisfazendo suas necessidades. Em casos de culturas que precisam de grandes quantidades de nutrientes para desenvolver seu potencial produtivo, essa quantidade deve ser fornecida. A maneira mais usual de fornecer esse insumo é a adubação, que é realizada com base na análise da fertilidade natural do solo e nas exigências da cultura. Esta prática, bastante difundida a partir da década de 50 do século XX, tem efeitos bastante positivos nas culturas (BARROS MEIRA, 2014) e é responsável por boa parte do aumento de produtividade de diversas culturas comerciais no Brasil e no mundo.

A mandioca, é uma cultura que se enquadra nessa situação. Como um dos principais produtos agrícolas do Brasil, e sendo também, um dos principais alimentos consumidos no mundo, seu cultivo é de suma importância estratégica, e manter essa atividade sustentavelmente garante segurança alimentar para muitas populações (KONGKEAWA et al., 2013) Por se tratar de cultura com alta capacidade de extrair nutrientes do solo, principalmente K, P e N, seu cultivo, para ser produtivo, exige grandes inputs de insumos químicos (HOWELER, 1981), e o preço e dificuldade de acesso a estes, faz com que seu uso não seja viável por grande parte dos produtores de mandioca, que são em sua maioria, pequenos e médios produtores (MOURA, 2014). Como consequência do uso agrícola do solo nessa cultura com sistema convencional, ocorre a redução nos teores de matéria orgânica do solo, sendo necessária a adoção de sistemas de manejo que mantenham os níveis dessa matéria orgânica e, desta forma, atue nos processos físico-químicos fundamentais à manutenção da fertilidade desses solos. (FERNANDES et. al., 1998). Como estratégia para suprir essa demanda, a agroecologia implementa o sistema de produção em Aléias para essa cultura. Este sistema visa, através do fornecimento de nutrientes e melhoria de estrutura do solo resultantes da decomposição da biomassa fornecida nas entrelinhas da cultura, repor os nutrientes retirados pela cultura durante seu

ciclo. Esta prática aproveita as características climáticas da região, que deve apresentar boa pluviosidade, para acelerar o processo de decomposição e disponibilização de nutrientes para as plantas, e, ao longo do tempo de fornecimento dessa biomassa, há um incremento dos teores de nutrientes disponíveis (AGUIAR et al. 2010).

Nesse experimento, uniu-se a capacidade das leguminosas de fornecer biomassa para recompor os teores de matéria orgânica do solo perdidos pelo intemperismo acentuado das regiões tropicais com a capacidade de induzir crescimento de raízes do ácido húmico visando gerar sustentabilidade na cultura da mandioca.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGRIANUAL. **Anuário Estatístico da Agricultura Brasileira**. São Paulo, FNP/M&S, 2005. 521p.

AGUIAR, A.C.F. *et al.* Environmental and agricultural benefits of a management system designed for sandy loam soils of the humid tropics. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p.1473-1480, 2009.

AGUIAR, A.C.F. *et al.* Nutrient recycling and physical indicators of alley cropping system ins sandy loam in the pre-Amazon region of Brazil. **Nutrient Cycling In Agroecosystems**, v.86, p. 189-198, 2010.

ALCÂNTARA, F. A. de; FURTINI NETO, A. E.; PAULA, M. B. de; MESQUITA, H. A. de; MUNIZ, J. A. Adubação verde na recuperação da fertilidade de um latossolo vermelho-escuro degradado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, p. 277-288, 2000.

ALENCAR, G. V. de. *et al.* Percepção ambiental e uso do solo por agricultores de sistemas orgânicos e convencionais na Chapada da Ibiapaba, Ceará. **Rev. Econ. Sociol. Rural**, Brasília, v. 51, n. 2, p. 217-236, 2013.

ALMEIDA, C. A. N de. *et al.* Fatores associados a anemia por deficiência de ferro em crianças pré-escolares brasileiras. **J Pediatr**, v. 80, n. 3, p. 229-34, 2004.

ALTIERI, M. A. Agroecology: the science of natural resource management for poor farmers in marginal environments. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 93, p. 1-24, 2002.

ALTIERI, M. A. Agroecologia: bases científicas para uma agricultura sustentável. **Editorial Nordan-Comunidad**, 1999. .Montivideo. 338 p.

ALTIERI, M. A., & Nicholls, C. (2001). Agroecología: principios y estrategias para una

agricultura sustentável en la América Latina del Siglo XXI. *Disponível en la página [www. agroeco. org](http://www.agroeco.org).*

ALBUQUERQUE, J. de A. A. de. et al. Cultivo de mandioca e feijão em sistemas consorciados realizado em Coimbra, Minas Gerais, Brasil. **Revista Ciência Agronômica**, v. 43, n. 3, p. 532-538, 2012.

ASSIS, R. L. de. Desenvolvimento rural sustentável no Brasil: perspectivas a partir da integração de ações públicas e privadas com base na agroecologia. **Econ. Apl.**, Ribeirão Preto, v. 10, n. 1, p. 75-89, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS PRODUTORES DE AMIDO DE MANDIOCA - ABAM. Produção brasileira de amido de mandioca 1990 a 2007. Disponível em: <<http://www.abam.com.br>>.

AZEVEDO, J. R. de *et al.* Caracterização, classificação, potencialidades e restrições agrícolas de solos em Chapadinha-MA. Anais do Congresso Latino Americano de la Ciencia del Suelo, 2014.; Congresso Peruano de la Ciencia del Solo, 16. 2014.

BALBINO, L. C. et al. Evolução tecnológica e arranjos produtivos de sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 10, p. 0-0, 2011.

BARRETO, A. C.; FERNANDES, M. F. Cultivo de *Gliricidia sepium* e *Leucaena leucocephala* em alamedas visando a melhoria dos solos dos tabuleiros costeiros. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, p. 1287- 1293, 2001.

BARROS MEIRA, Roberta. A ciência se arroja de senhoria da lavoura: os primeiros passos para a consolidação da agricultura científica na produção açucareira brasileira (1889-1930). **Diálogos**-Revista do Departamento de História e do Programa de Pós-Graduação em História, 2014, 18.2.

BESERRA, F. J. *et al.* Desenvolvimento e caracterização físico-química e sensorial de embutido cozido tipo apresuntado de carne de caprino. **Ciência Rural**, v. 33, n. 6, p. 1141-1147, 2003.

BEZERRA, V.S. Valor nutricional da mandioca (*manihot esculenta* Crantz) e transformação pós-colheita. Macapá: **Embrapa Amapá**, 2002. 18 p. 2002

BIASE, L. de. .Agroecologia, campesinidade e os espaços femininos na unidade familiar de produção, Piracicaba, 2010. **Dissertação de mestrado**. Universidade de São Paulo-USP.

BOLETIM INFORMATIVO DA SBCS, A **Biofortificação em Debate**, v. 42, n. 2, p. 900, 2016.

BOTELHO, R. E. P.. O circuito espacial de produção e os círculos de cooperação da soja no Maranhão no período técnico-científico informacional. 2010. 220 f. Dissertação (Mestrado em Dinâmica e Reestruturação do Território) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2010.

CANESIN, R. C. F. S.; CORRÊA, L. S. Uso de esterco associado à adubação mineral na produção de mudas de mamoeiro (*Carica papaya* L.). **Revista Brasileira de Fruticultura** , Jaboticabal, v. 28, n. 3, p. 481 – 486, dez. 2006.

CARVALHO, L.J.C.B. et al. A genomic assisted breeding program for cassava to improve nutritional quality and industrial traits of storage root. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, v.11, p.289-296, 2011.

CARVALHO, L.J.C.B. et al. Characterization of carotenoid-protein complexes and gene expression analysis associated with carotenoid sequestration in pigmented cassava (*Manihot esculenta* Crantz) storage root. **Open Biochemistry Journal**, v.6, p.116-130, 2012.

CARVALHO, L.M.J. et al. Retention of total carotenoid and β -carotene in yellow sweet cassava (*Manihot esculenta* Crantz) after domestic cooking. **Food & Nutrition Research**, v.56, 15788, 2012.

CAVALCANTI, J.; ARAÚJO, G. G. L. de. Parte aérea da mandioca na alimentação de ruminantes na região semi-árida. (Circular técnica), Petrolina, **Embrapa Semi-Árido**, 21 p.2000.

CHAVES, J. B. P. Avaliação sensorial de alimentos: métodos de análise. **Viçosa**: Editora UFV, 1980. 69p. (caderno 37).

CHAVEZ, A. L. *et al.* Variation of quality traits in cassava roots evaluated in landraces and improved clones. **Euphytica**, v. 143, n. 01, p. 125-133, 2005.

Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento. (1988). *Nosso futuro comum*. Rio de Janeiro: Fundação Getúlio Vargas.

CONCEICAO, Patrícia Marluci da et al . Recobrimento de sementes de milho com ácidos húmicos e bactérias diazotróficas endofíticas. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília , v. 43, n. 4, p. 545-548, Apr. 2008

COSTA, N. Q., SILVA, K. J. D. e, FRANCO, L. J. D., MOREIRA-ARAÚJO, R. S. dos R., ROCHA, M. de M. Aceitabilidade de formulações de baião-de-dois elaborados a partir de arroz integral e feijão caupi biofortificados. **Reunião de Biofortificação no Brasil, 2015. São Paulo. Anais**. Brasília, DF: EMBRAPA, 2015. T 304. P. 102-104

BRASIL, M. da S. *et al.* Efeitos da inoculação de bactérias diazotróficas em gramíneas forrageiras do Pantanal. **Pasturas Tropicales**, v. 27, n. 3, p. 22-33, 2005.

DA COSTA LIMA, Gustavo F. O debate da sustentabilidade na sociedade insustentável. *REVISTA DE CIÊNCIAS SOCIAIS-POLÍTICA & TRABALHO*, 1997, 13.

DA SILVA, Jhonny Santos. Agricultura familiar camponesa e cooperativismo no Maranhão. *Revista IDeAS*, v. 6, n. 1, p 50-82, 2012.

DE OLIVEIRA, Ademar P. et al. Produção de raízes de batata-doce em função do uso de doses de N aplicadas no solo e via foliar. *Hortic. Bras.*, v. 24, n. 3, 2006.

DE QUEIROZ, Daiane et al. Vitamin A deficiency and associated factors in children in urban areas. *Revista de Saúde Pública*, [S.l.], v. 47, n. 2, p. 248-256, June 2013.

ESCOBAL, Nidia et al. Déficit de vitamina A en una población infantil de alto riesgo social en Argentina. *Revista chilena de pediatría*, v. 72, n. 2, p. 169-178, 2001.

EMBRAPA, 2014. <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/2246805/plantas-biofortificadas-tem-alta-productividade-e-fornecem-alimentos-enriquecidos>

Ferrara, G., & Brunetti, G. Influence of foliar applications of humic acids on yield and fruit quality of table grape cv. Italia. *J. Int. Sci. Vigne Vin*, v. 42 n. 2, p. 79-87, 2008

FERREIRA, C. M.. Fundamentos para a implantação e avaliação da produção sustentável de grãos. *EMBRAPA. Arroz e Feijão*, 2008.

FERREIRA, Geane Dias Gonçalves; OLIVEIRA, Ronaldo Lopes ; CARDOSO, Elyzabeth Cruz ; MAGALHÃES, André Luiz Rodrigues ; BRITO, Elieldo Lameira. *Rev. Bras. Saúde Prod. An.*, v.8, n.4, p. 364-374, out/dez, 2007.

FREITAS, A. C. R. de. A crise ecológica na agricultura do estado do Maranhão e a reprodução social do trabalho familiar. *Revista de Políticas Públicas*, v. 3, n. 1, p. 89-106, 2015.

GASPAR, R. B. O eldorado dos gaúchos: Deslocamento de agricultores do Sul do país e seu estabelecimento no Leste Maranhense. *São Luís: EdUFMA*, 2010. Dissertação de Mestrado – UFMA – Programa de Pós Graduação em Ciências Sociais.

GASPAR, R. B.; ANDRADE, M. de P.. Gaúchos no Maranhão: agentes, posições sociais e trajetórias em novas fronteiras do agronegócio. *Revista Pós Ciências Sociais*, v. 11, n. 22, 2015.

GOMES DE MOURA, Emanuel et al. Avaliação de um sistema de cultivo em aléias em um argissolo franco-arenoso da região amazônica. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 32, n. 4, p. 1735-1742, 2008.

GREENWOOD, D. J. et al. Growth rate and % N of field grown crops: theory and

experiments. **Annals of Botany**, v. 67, n. 2, p. 181-190, 1991.

HEINEMAN, A. M.; OTIENO, H. J. O.; MENGICH, E. K.; AMADALO, A. Growth and yield of eight agroforestry tree species in line plantings in Western Kenya and their effect on maize yields and soil properties. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 91, p. 103-135, 1997.

Helyde A. MARINHO; José Jackson B. N. XAVIER, Roberto M. MIRANDA, Janete S. CASTRO. Estudos sobre carotenoides com atividade de provitamina A em cultivares de mandioca (*Manihot Esculenta* CRANTZ) em ecossistema de terra firme de Manaus, Amazonas Brasil. *Acta Amazônica*, v. 26, n 3, p. 127-136, set 1996

IBGE – Levantamento Sistemático da Produção – SIDRA. <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/1618#resultado>, acessado em 15/08/2017.

IBGE 2010 – Censo Demográfico 2010 .Disponível em: <http://www.censo2010.ibge.gov.br/sinopse/index.php?uf=21&dados=6>. Acesso em: 08/07/2017.

KUSS, Anelise Vicentini. Fixação de nitrogênio por bactérias diazotróficas em cultivares de arroz irrigado. **Universidade Federal de Santa Maria**, 2006.

LEI Nº 6150, DE 03 DE SETEMBRO DE 1974- Dispõe sobre a obrigatoriedade da iodação do sal, destinado ao consumo humano, seu controle pelos órgãos sanitários e dá outras providências.

LEITE, Andréia Araújo Lima et al. Comportamento de dois genótipos de milho cultivados em sistema de aléias preestabelecido com diferentes leguminosas arbóreas. **Bragantia**, v. 67, n. 4, p. 875-882, 2008.

LOSE, S. J., et al. "Cassava, maize and tree root development as affected by various agroforestry and cropping systems in Benin, West Africa." **Agriculture, Ecosystems & Environment** 100.2 (2003): 137-151.

MACHADO, P.L.O. de A. Método para a extração de substancias húmicas do solo: ácido húmico e ácido fúlvico. **Embrapa Solos-Comunicado Técnico (INFOTECA-E)**, n.1, p. 1-4, 1999.

MAFONGOYA, P.L.; NAIR, P.K.R.; DZOWELA, B.H. Mineralisation of nitrogen from decomposing leaves of multipurpose trees as affected by their chemical composition. **Biology and Fertility of Soils**, Amsterdam, v.27, n.2, p.143-148, 1998.

MALEZIEUX, E. Designing cropping systems from nature. **Agronomy for Sustainable Development**, Volume 32: p. 15-29. 2012

MARIN, Victor Augustus et al. Fixação biológica de nitrogênio: Bactérias fixadoras de nitrogênio de importância para a agricultura tropical. **Embrapa Agrobiologia-**

Documentos (INFOTECA-E), 1999.

MARTINE, G.. A trajetória da modernização agrícola: a quem beneficia?. **Lua Nova: Revista de Cultura e Política**, n. 23, p. 7-37, 1991.

MAZOYER, M.; ROUDART, L. História das agriculturas no mundo: do neolítico à crise contemporânea. 1933. Tradução de Cláudia F. Falluh Balduino Ferreira. São Paulo: Editora UNESP; Brasília, DF: NEAD, 2010.

MEDEIROS, M. B.; WANDERLEY, P. A.; WANDERLEY, M. J. A. Biofertilizantes líquidos. **Biotecnologia Ciência e Desenvolvimento**, v.31,p.38-44, jul./dez. 2003

Méndez, V. E., Bacon, C. M., & Cohen, R. (2013). Agroecology as a transdisciplinary, participatory, and action-oriented approach. **Agroecology and Sustainable Food Systems**, 37(1), 3-18.

MONTAGNAC, J.A.; DAVIS, C.R.; TANUMIHARDJO, S.A.; Nutritional value of cassava for use as a staple food and recent advances for improvement. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, Malden, v. 8, n.3, 181-194, Jul. 2009.

MOTA, J. J. P.; SOUSA, C. di S. S.; SILVA, A. C. da. Saneamento básico e seu reflexo nas condições socioambientais da zona rural do baixo Munim (maranhão). **Caminhos de Geografia**, v. 16, n. 54, P. 140-160.

MOURA, E.G *et al.* Nutrient use efficiency in alley cropping systems in the Amazonian periphery. **Plant and Soil**, v.35, p.363–371, 2010.

MOURA, E.G. et al. Avaliação de um sistema de cultivo em aleias em um argissolo franco-arenoso da região amazônica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.1735-1742, 2008.

MOURA, E.G. *et al.* Evaluating chemical and physical quality indicators for a structurally fragile tropical soil. **Soil Use and Management**, v.25, p.368-375, 2009.

MOURA, E.G. *et al.* Influência de ervas daninhas e atributos do solo em um agroecossistema da pré-Amazônia sob efeito da cobertura morta de diferentes combinações de leguminosas em aleias. **Scientia Agraria**, Curitiba, v.10, n.1, p.7-14, 2009.

MOURA, E.G. *et al.* Patents on periphery of the Amazon rainforest. **Recent Patents on Food, Nutrition & Agriculture**, v.1, p.142-149, 2009.

MOURA, E.G.; ALBURQUERQUE, J.M.; AGUIAR, A.C.F. Growth and productivity of corn as affected by mulching and tillage in alley cropping systems. **Scientia Agricola**, v.65, n.2, p.204-208, 2008.

NASSAR, N. M.A. Mandioca. **Ciência Hoje**, v. 39, n. 231, p. 30., 2006.

NICODEMO, M. L. F. et al. Desenvolvimento Inicial de Espécies Florestais em Sistema Silvopastoril na Região Sudeste. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, n. 60, p. 89, feb. 2010.

NOGUEIRA, A. L. C. et al. Avaliação sensorial de água de coco (*Cocos nucifera* L) in natura e processada. **Revista de biologia e ciências da terra**, v. 4, n. 2, 2004.

NOGUEIRA, V. F. B.; CORREIA, M.de F.; NOGUEIRA, V. da S.. Impacto do Plantio de Soja e do Oceano Pacífico Equatorial na Precipitação e Temperatura na Cidade de Chapadinha-MA (Impact of Soybean Planting and Equatorial Pacific Ocean Temperature and Precipitation in the City of Chapadinha-MA). **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 5, n. 3, p. 708-724, 2012.

OLIVEIRA, Ariovaldo Umbelino. O desafio do agronegócio brasileiro. USP, 2004.

OLIVEIRA, A. P.; SILVA, V. R. F.; SANTOS, C. S.; ARAÚJO, J. S.; NASCIMENTO, J. T. Produção de coentro cultivado com esterco bovino e adubação mineral. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 20, n. 3, p. 477 – 479, set. 2002.

OLIVEIRA, A. P; FERREIRA, D. S.; COSTA, C. C.; SILVA, A. F; ALVES, E .U. Uso de esterco bovino e húmus de minhoca na produção de repolho híbrido. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 19, n. 1, p. 70 – 73, mar. 2001.

OLIVEIRA, Eliane de et al. Description of local cowpea cultivars from the microregion of Cruzeiro do Sul, Acre, Brazil. **Acta Amazonica**, v. 45, n. 3, p. 243-254, 2015.

OLIVEIRA, Natália Trajano de et al . Ácido cianídrico em tecidos de mandioca em função da idade da planta e adubação nitrogenada. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília , v. 47, n. 10, p. 1436-1442, Oct. 2012 .

PASSOS, M.L.V. et al. Balanço hídrico e classificação climática para uma determinada região de Chapadinha-MA. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada** v.10, nº.4, p. 758 - 766, 2016.

PAULO, EDISON et al. Coffee productivity during intercropping with five leguminous species in the Western region of São Paulo state, Brazil. **Bragantia**, v. 60, n. 3, p. 195-199, 2001.

PÉREZ, A. M. *et al.* Efeito da *Gliricidia sepium* sobre nutrientes do solo, microclima e produtividade do milho em sistema agroflorestal no Agreste Paraibano. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.30, p. 555-564., 2006

PETERSEN, Paulo. Agricultura familiar camponesa na construção do futuro - Rio de Janeiro: AS-PTA, 2009. 168 p.

PINHEIRO, Gabriela Lúcia; SILVA, Carlos Alberto; FURTINI NETO, Antônio

Eduardo. Crescimento e nutrição de clone de eucalipto em resposta à aplicação de concentrações de C-ácido húmico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 4, p. 1217-1230, 2010.

PORTARIA Nº 2.914, DE 12 DE DEZEMBRO DE 2011- ANVISA - Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade.

PORTO-GONÇALVES, Carlos Walter. A globalização da natureza e a natureza da globalização. Rio de Janeiro: Ed. Civilização Brasileira, 2006. 53 p.

PRESOTI, A. E. P. Avaliação de impactos ambientais da sojicultura em um ecossistema aquático da microrregião de Chapadinha, MA. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Maranhão, Programa de Pós Graduação em Sustentabilidade em Ecossistema, 2008

PROKOPP HAUTRIVE, Tiffany et al. Análise físico-química e sensorial de hambúrguer elaborado com carne de avestruz. **Ciência e tecnologia de alimentos**, v. 28, n. 1, p. 95-101, 2008.

QUEIROZ, Luciano Rodrigues; COELHO, Fábio Cunha; BARROSO, Deborah GUERRA. Maize crop in alley cropping system with perennials legumes. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 31, n. 5, p. 1303-1309, 2007.

REDIN, M. *et al.* Impacts of burning on chemical, physical and biological attributes of soil. **Ciência Florestal**, v. 21, n. 2, p. 381-392, 2011.

RIBEIRO, Paulo Henrique et al. Adubação verde, os estoques de carbono e nitrogênio e a qualidade da matéria orgânica do solo. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 6, n. 1, p. 43-50, 2011.

Rodrigues, Luan F. O. S. et al. Características agronômicas do trigo em função de Azospirillum brasilense, ácidos húmicos e nitrogênio em casa de vegetação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Departamento de Engenharia Agrícola - UFCG, v. 18, n. 1, p. 31-37, 2014.

SABINO, Daniele Cristina Costa et al. Bactérias diazotróficas como promotoras do desenvolvimento inicial de plântulas de arroz. **Enciclopédia Biosfera**, v. 8, n. 15, p. 2337-2345, 2012.

SALA, Valéria Marino Rodrigues; DA SILVEIRA, Adriana Parada Dias; CARDOSO, Elke Jurandy Bran Nogueira. Bactérias diazotróficas associadas a plantas não-leguminosas. **Microbiota do Solo e Qualidade Ambiental**, p. 97-115, 2007.

SCHLESINGER, S.. O biodiesel da soja: queimando óleo e florestas, chamuscando gente. Impactos Cumulativos e Tendências Territoriais da Expansão das Monoculturas para a Produção de Bioenergia. **Agronegócio + agroenergia**. FBOMS, 2006.

SEADE - CENÁRIOS DA AGRICULTURA NO MARANHÃO-CHAPADINHA - MARANHÃO 2002.

SILVA, Alexandre Christofaro et al. Promoção do crescimento radicular de plântulas de tomateiro por substâncias húmicas isoladas de turfeiras. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 5, p. 1609-1618, 2011.

SILVA, C. R.; PEREIRA, Adriane Castro; MIYASAKA, Celio Kenji. Concentrações de selênio na dieta e nas unhas de pré-escolares de um centro de educação infantil de São Paulo-SP Selenium in diet and nails of preschool from the nursery in São Paulo, Brazil. **Alimentos e Nutrição Araraquara**, v. 21, n. 4, p. 573-578, 2011.

SILVA, CC de O. et al. Perfil sensorial e aceitação pelo consumidor de massa alimentícia à base de farinha de batata-doce de polpa alaranjada. In: **Embrapa Agroindústria de Alimentos-Artigo em anais de congresso (ALICE)**. In: REUNIÃO DE BIOFORTIFICAÇÃO NO BRASIL, 4., 2011, Teresina. Palestras e resumos... Rio de Janeiro: Embrapa Agroindústria de Alimentos; Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2011. 1 CD-ROM.

SILVA, J. da, GARCIA, K. G. V., ARRAIS, Í. G., SILVA, J. R. da, DINIZ, M. de S. Manejo fitotécnico na cultura da mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) em amargosa, bahia. 1. adubação mineral e orgânica. In: **Congresso Brasileiro de Mandioca**, 15., 2013, Salvador. Inovação e sustentabilidade: da raiz ao amido: trabalhos apresentados. Salvador: CBM: Embrapa, 2013

SILVA, Karina Nascimento da et al . Potencial agrônômico e teor de carotenoides em raízes de reserva de mandioca. **Cienc. Rural**, Santa Maria , v. 44, n. 8, p. 1348-1354, 2014

SOARES, Maurício Robério Silva. Características de variedades de mandioca em função de épocas de colheita. Dissertação apresentada à Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, área de concentração em Fitotecnia, para obtenção do título de Mestre, 2011.

SOUSA, T.C.R.; AGUIAR, J.L.P.; LÔBO, C.F.; A importância da mandioca. In: FIALHO, J.F.; VIEIRA, E.A. (Ed.). **Mandioca no Cerrado: Orientações Técnicas**, Planaltina: Embrapa Cerrados, 2011, p. 13-23.

SOUZA, Walnéia Aparecida de; BOAS, Vilas; DA COSTA, Olinda Maria Gomes. Vitamin A deficiency in Brazil: an overview. **Revista Panamericana de Salud Pública**, v. 12, n. 3, p. 173-179, 2002

SPINELLI, Monica Glória Neumann et al. Fatores de risco para anemia em crianças de 6 a 12 meses no Brasil. v. 17, n. 2, p. 84-91. 2005.

TALSMA EF, MELSE-BOONSTRA A, DE KOK BPH, MBERA GNK, MWANGI AM, et al. (2013) Biofortified Cassava with Pro-Vitamin A Is Sensory and Culturally

Acceptable for Consumption by Primary School Children in Kenya. **PLoS ONE** 8(9): e73433. doi:10.1371/journal.pone.0073433.

TAMISO, L. G.; ROSSI, F.; MELO, P. C. T.; AMBROSANO, E. J.; CHIAVEGATO, E. J.; GUIRADO, N.; MENDES, P. C. D. ; SCHAMMASS, E. A.; AMBROSANO, G. M. B.; ENDO, G. K.; MANFREDINI, D. Produção de mudas de tomate em composto orgânico e húmus de minhoca. **Horticultura Brasileira** . v. 22, n. 2, jul. 2004.

TEIXEIRA, E.; MEINERT, E. M.; BARBETTA, P. A. Análise sensorial de alimentos. **Florianópolis: Ed. da UFSC**, 1987. 180 p.

TEIXEIRA, M. A. et al. Diversidade de bactérias endofíticas na cultura da mandioca. **Embrapa Meio Ambiente-Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento (INFOTECA-E)**, n. 33, 2005.

UNDERWOOD, B.A.; SMITASII, S. Micronutrient malnutrition: policies and programs for control and their implications. **Annual Review of Nutrition**, v.19, p.303-324, 1999

VIEIRA FILHO, E. R.; GASQUES, J.G.; CARVALHO, A. X. Y. de. Agricultura, transformação produtiva e sustentabilidade – **Brasília : Ipea**, 2016. 391 p.

VILPOUX, Olivier François. Competitividade da mandioca no Brasil, como matéria prima para amido. **Informações Econômicas**, v. 38, n. 11, p. 27-38, 2008.

WOLF, E. R. Sociedades camponesas. **Rio de Janeiro: Zahar**, 1976. Pag. 39

Wurdig Roesch, Luiz Fernando; Pereira Passaglia, Luciane Maria; Menezes Bento, Fátima; Triplett, Eric W.; Oliveira Camargo, Flávio Anastácio; 2007. Diversidade de bactérias diazotróficas endofíticas associadas a plantas de milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** vol. 31, n. 6, p. 1367-1380, 2007.

ZAPATA, J. F. F. et al. Estudo da qualidade da carne ovina do Nordeste brasileiro: propriedades físicas e sensoriais. **Embrapa Caprinos e Ovinos-Artigo em periódico indexado (ALICE)**, 2000.

GREEN FERTILIZATION COMBINED WITH HUMID ACID
CONTRIBUTING TO SUSTAINABILITY, PRODUCTIVITY AND
QUALITY OF CASSAVA CULTURE

CHAPTER II

Abstract

In humid tropics soils, which is subjected to a high degree of weathering, the greatest challenge for tropical agriculture is to avoid unsustainable practices that can lead to deforestation of fresh areas when soil nutrients are depleted. The aim of this work was to evaluate the effects of combining leguminous biomass and humic acid on soil chemical properties, organic matter content and on yield and quality of cassava, in a tropical soil with low natural fertility. The alley cropping experiment consisted of 10 treatments and four replicates arranged in randomised blocks, as follows: L+C, *leucaena* + *clitoria*; L+A, *leucaena* + *acácia*; G+C, *gliricidia* + *clitoria*; G+A, *gliricidia* + *acácia*; and, bare soil, all with and without humic acid. Our results confirm that leguminous biomass can enhance base cations and organic matter in tropical soil. In these circumstances, productivity of cassava can be increased up to 60% by humic acid application, but negative interactions between crops and leguminous biomass from species like *Acacia mangium* can neutralize the positive effects of humic acid on root growth. A combination of leguminous biomass with high nitrogen release and lower antagonistic effects like *gliricidia* + *clitoria* can increase starch and protein contents in cassava. However, the beta-carotene content was not affected by the treatment.

Key-words: Sustainability. Biofortified cassava. Alley crops. Tropical soils. Green Fertilization

Introduction

The biggest challenge for tropical agriculture is sustainable management of soils, almost always derived from sedimentary rocks that have been subjected to a high degree of weathering (Steiner et al., 2007). In many regions of the humid tropics some farmers use slash-and-burn techniques as a means of clearing and fertilizing the land for staple food cultivation. This land use results in short-lived production and farmers usually move to a fresh plot when the plot used becomes infertile (Moura et al., 2016). On the other hand, attempts at improving topsoil with novel tillage practices have led to reducing organic matter and to hardening these soils, most of them, with low content of aggregator elements like free iron and C-organic, (Daniels, 2012). Nowadays, both, slash-and-burn or tillage systems, are unsustainable and therefore increasingly recognized as the greatest threats to preserving the rainforest and maintaining a healthy ecosystem, in the Amazon region and its surroundings (Aguiar et al., 2013).

Among other staple foods, the cassava crop, in particular, has high capacity to uptake nutrients, even in soil having reduced fertility, which might result in severe depletion of nutrient availability for subsequent crops (Howeler, 1991). However, in many tropical regions, cassava is vital for both food security and income generation for people and their families (Kongkeawa et al., 2013). Thus, for many tropical rural communities, cassava products provide almost the entire minimum daily requirement for energy needs, but only a small amount of the minimum daily requirement of vitamin A, protein and other vital nutrients. This is especially critical for poor families for whom cassava constitutes almost the entire daily primary meal and who cannot afford expensive alternative sources of these nutrients (Montagnac et al. 2009). The biofortification process for improving the food quality of cassava has been successful. However, adverse environmental effects such as

low-nutrient availability and poor soil rootability may impose severe constraints on the exploitation of this important alternative crop for family farms (Ngaboyisonga et al., 2012).

A decrease of soil organic matter (SOM), and a loss of base cations are among the causes of land degradation in the humid tropics. Together, these factors affect soil rootability, nutrient availability and biomass productivity, which can pave the way for land degradation (Basamba et al., 2006). SOM plays an important role in enhancing good soil structure and in providing ion exchange capacity in tropical soils. Therefore, any attempt at sustainable management of soil must consider production and addition of biomass to nutrient recycling and avoid organic matter depletion in tropical soil (Gallantini, 2013; Moura, 2015)

Sustainable agriculture is threatened by widespread low base cations in many tropical regions. Problems due to this vary substantially with both rainfall intensity and soil properties and are particularly acute for the highly weathered Oxisols of the Amazon basin (Laird et al., 2010). In this region, soils are dominated by low activity clays that have little capacity to retain nutrients, and rainfall intensity is high, which increases base cation leaching. On the other hand, the Amazon Basin presents enormous potential for biological productivity, due to vast solar energy available in this tropical region, which can be harnessed to produce biomass. Therefore, some authors have reported that alley cropping in no-tillage systems, with annual pruning of tree branches, can meet the needs of rain-fed upland farming with low external chemical inputs, by taking advantage of rapid growth of trees in tropical environments (Aguiar et al., 2010). Trees improve soil quality by providing organic matter, reducing weed populations, assisting in nutrient recovery from deeper soil layers. However, a number of negative or antagonistic

interactions, both competitive and allelopathic, may influence agroforestry systems (Moura et al., 2014). Damage in root growth has been the main effect of allelochemicals on plants, which can be crucial to cassava crops (Dragoeva et al., 2015). Therefore, the key to successful use of biomass from agroforestry is to minimise these antagonisms, and to take advantage of positive interactions, mainly those related to sustainability of soil use (Thevathasan and Gordon, 2004).

Some authors have reported the effects of humic acid on plant physiology mainly with regard to induction and proliferation of sites of lateral root, emergence and enhancement of root growth and increased nutrient uptake, (Jindo et al 2012). Although this process has yet to be tested in tropical conditions, it seems to be a complementary alternative for cassava cultivation, when combined use of leguminous biomass. We hypothesized that together these practices might contribute to overcome the challenges to increase the productivity and the sustainability of the agrosystems of the humid tropics.

Taking all this into account, the aim of this work was to evaluate the effects of leguminous biomass of an alley system on soil chemical properties, organic matter and on yield and quality of cassava, in a tropical soil with low natural fertility.

Materials and methods

This experiment was conducted between 2009 and 2016 in Chapadinha, Maranhao, Brazil at 3°44'30" S and 43°21'37" W. The region has a hot and semi-humid equatorial climate with a mean precipitation of 1,600 mm year⁻¹ and two well-defined seasons, a rainy season that extends from January to June and a dry season with a water deficit from July to December. The soil in the experimental area is an Arenic Hapludult with 200 g kg⁻¹ coarse sand, 480 g kg⁻¹ fine sand, 70 g kg⁻¹ silt and 260 g kg⁻¹ clay.

Experiment History

The area was limed in January 2009 using a surface application of 1 Mg ha⁻¹ limestone, which corresponded to 279 and 78 kg ha⁻¹ Ca and Mg, respectively. Triple superphosphate was applied at 300 kg ha⁻¹, which corresponded to 53.7 kg ha⁻¹ of P.

We tested four tree leguminous species, two with high-quality residues (*Leucaena leucocephala* (leucaena) and *Gliricidia sepium* (gliricidia) and two with low-quality residues (*Clitoria fairchildiana* (clitoria) and *Acacia mangium* (acacia)). The legume residue qualities were determined based on their C/N ratios and lignin and polyphenol contents as described by Aguiar et al. (2010) and Tian et al. (1995). In January 2009, the legumes were planted with a spacing of 0.05 m in 10 x 4 m plots and in mixed rows so that each parcel received both types of residue.

Corn (*Zea mays* L. cultivar AG 7088) was grown under a no-tillage system between the rows of the leguminous plants in 12 m x 4 m sections at a density of five plants per square meter from 2009, until 2014. The mineral fertiliser consisted of 40-80-40 kg ha⁻¹ of N, P₂O₅ and K₂O, respectively, as urea, superphosphate and potassium chloride.

Pruning first occurred in January 2010 with additional annual cuttings from 2011 until 2015 at a height of approximately 0,5m. The amount of dry biomass produced and applied to the soil was equally distributed among all sections of each treatment.

Cassava experiment

Immediately after the leguminous pruning occurred in January 2015, cassava variety BR 473 was planted using 0,20 m portions of the mature stem. The cuttings are planted by hand in a no-tillage system spacing 100 by 0,50 m. At planting all plots received 52 kg ha⁻¹ P as superphosphate, 33 kg ha⁻¹ of K as potassium chloride (KCl), 45 kg ha⁻¹ of N as urea and 6.25 kg ha⁻¹ Zn as zinc sulphate. In addition, 45 kg ha⁻¹ was applied in the form

of urea when the fourth pair of cassava leaves emerged. The cassava biofortified alley cropping experiment consisted of 10 treatments and four replicates arranged in randomised blocks, as follows: L+C, *leucaena* + *clitoria*; L+A, *leucaena* + *acacia*; G+C, *gliricidia* + *clitoria*; G+A, *gliricidia* + *acacia*; and, bare soil, all with and without humic acid.

Humic substances (HAs) were extracted and purified. Briefly, 10 volumes of 0.5 M NaOH were mixed with one volume of earthworm compost under an N₂ atmosphere and shaken overnight. After 12 h, the suspension was centrifuged at 5,000 g and acidified to pH 1.5 using 6 M HCl. The HAs were solubilized in 0.5 M NaOH and precipitated three times, and the resulting pellet was mixed with 10 volumes of a diluted mixture of HF-HCl solution (5 mL L⁻¹ HCl [12 M] +5 mL L⁻¹HF [48%, v/v]). After centrifugation (5,000g) for 15 min, the sample was repeatedly washed with water until a negative test against AgNO₃ was obtained. The HAs were titrated to a pH of 7.0 with 0.01 M KOH and dialyzed against deionized water using a 1 kD cut-off membrane (Thomas Scientific, Swedesboro, NJ), before they were lyophilized. All treatments were applied at the same time as a foliar spray 45 and 70 days after germination at a rate of 450 L ha⁻¹ of humic substances isolated from vermicompost at 50 mg L⁻¹.

Agronomic and chemical analyses

In April 2016, the cassava was harvested and the following yield parameters were measured for 20 cassava plants per plot, of a total of 40 plants: shoot weight (t/ha), number of roots per plant, root weight. Three cassava roots were used for the following analyses: *Proximate composition*. Cassava roots were peeled and crushed to determine moisture and ash contents and were dried at 50°C for 24 hours to determine protein contents. The protein contents were measured according to AOAC. For Starch content,

cassava roots were dried in an oven at 50°C for 24 hours and enzymatic hydrolysis was conducted according to the AOAC method 996.11 with modifications. Root samples (100 mg) were added to 0.2 mL of 80% ethanol, 3mL of 0.2 M sodium phosphate buffer (pH 6.8) and 100µL of thermostable α -amylase. The mixture was placed in a water bath at 95°C for 5 minutes. Then, 4 mL of 200 mM sodium acetate buffer (pH 4.5) and 100µL of amyloglucosidase were added. The mixture remained at 50°C in a water bath and was stirred for 30 minutes. The contents were transferred to a 100-mL flask, filled to volume with water and filtered through filter paper. The glucose content was determined using a Glucox 500 kit and converted to starch by multiplying by a factor of 0.9.

Carotenoid and pro-vitamin A contents.

A carotenoid analysis was conducted with protection from light, the avoidance of high temperatures and the use antioxidants. All procedures were conducted according to Rodriguez-Amaya and Kimura (2004). Briefly, the carotenoids from 20g of cassava, to which butylated hydroxytoluene (0.1 %) was added to minimize oxidation, were extracted four times with cold acetone using a Polytron homogeniser until the residue lacked colour completely. The pigments were transferred from the acetone to petroleum ether. An aliquot of carotenoid extract was properly diluted, and the total carotenoids were determined spectrophotometrically at an absorbance of 450 nm using a UV-visible recording spectrophotometer (Lambda 25 Perkin Elmer) and the absorption coefficients $A_{1cm}^{1\%}$ of β -carotene.

In December 2015, soil samples were collected using a heavy-duty auger. The samples consisted of five sub-samples collected at four depth increments (0–5 cm, 5–10cm, 10–15 cm, 15–20 cm and 20-40 cm) and were used for chemical and organic matter analysis. Each sample was analysed for pH (0.01 M CaCl₂ suspension, 1:2.5 soil/solution, v/v),

organic carbon (Walkley-Black) and exchangeable K, Ca, and Mg (using an 'exchangeable ion resin') and potential acidity (H + Al using a SMP buffer solution at pH 7.0) (*van Raij et al.*, 1986). The cation exchange capacity (CEC) was calculated as K + Ca + Mg + (H + Al), and the sum of bases (SB) was calculated as K + Ca + Mg. The base saturation percentage (BSP) was calculated as $SB/CEC \times 100$. Furthermore, the P, Ca, Mg, and K measurements were obtained using a Varian 720-ES ICP Optical Emission Spectrometer.

Portions of the 0-5 and 5-10 samples were mixed, and the organic matter was separated by using physical soil fractionation based on a NaI solution density of 1.80g cm^{-3} (determined by hydrometer), as described by *Sohi et al.* (2001). The free light fraction (FLF) was separated by weighing a 10-g soil subsample in 70 ml of sodium iodide (NaI). The vials containing the mixture were manually stirred for 30s. After decantation for 48h, the supernatant fraction on the surface of the solution (FLF) was aspirated and filtered through a vacuum system by using a stage glass fibre filter with a diameter of 47mm and a 2- μm retention. The FLFs collected in the filters were carefully washed with distilled water to remove excess NaI and subsequently placed in a forced-air oven for drying at 50–55°C for 48h. Next, the samples were weighed and macerated before determining the carbon content. After extracting the FLF, the intra-aggregate fraction (IAF) was determined by using the same procedure. However, stirring was performed using glass beads on a shaking table for 1h. Wet oxidation with potassium dichromate was used for the carbon analysis of each soil fraction (*Tiessen and Moir*, 1993).

Results

The content of P in the control treatment was higher than in the treatments with leucaena in the 0 – 10 cm layer, whereas in the 10 – 20 cm layer it's not show in the treatments

with biomass. Base cations (BC) and percentage base saturations (PBS) were higher in *clitoria + gliricidia* treatments compared to the control in the 0 - 20 cm layer. In the 10 – 20 cm layer all combinations of residue increase BC and PBS except for *gliricidia + acacia*. In this layer, organic carbon was also higher in *clitoria + gliricidia* than in other treatments, except for *leucaena + clitoria*. (Tab. 1)

Visualization of multivariate data in the principal component analysis show clustering in *clitoria + gliricidia* treatments with C, K, Ca, CEC and PBS strongly associated. Whereas carbon(C) and light free fraction of organic matter were combined in *leucaena + acacia* (Tab. 1).

The production of cassava, root and shoot dry matter, and betacaroten was not affected by leguminous biomass, when used without humid acid. Leguminous residue alone also did not increase beta-carotene content in roots. However, the combinations having *gliricidia* increased the starch content and when combined with *clitoria* it practically doubled the protein content in the cassava roots compared to the control, without Humic Acid. The protein content was very low in the treatments with *acacia*. (Tab. 2)

The humic acid increased the weight of the root, of the shoot and modified the root quality in some treatments. The root shoot was increased by the humid acid only in the control and in the combinations with *clitoria*. In the treatments having biomass of legume the humic acid did not increase the shoot weight. Beta-carotene and protein were increased by humic acid in the *gliricidia + acacia* combination. The starch did not increase in the combinations with *gliricidia*. (Tab. 3)

When the humic acid was used, almost all the leguminous biomass decreased the root weight, compared to the control. Only in the *gliricidia + clitoria* treatment, the root weight was not less than in the control, while the treatment with *acacia* produced around half

roots compared to the control treatment. The shoot weight was less affected by biomass with humic acid than the root weight.

The shoot weight was less than in the control treatment, only *leucaena* + *acacia* treatment. With humic acid the combination with *gliricidia* was higher in protein content and the combination with *leucaena* was higher in starch contents. (Tab. 3).

Discussion

There were relevant differences between the combinations of leguminous trees, regarding the effects on soil chemical properties, which can affect the sustainability of tropical soil use. Lower resin P contents in the plots with *leucaena* can be partly explained by the higher amount of P extracted by the maize crop from 2009 to 2014. In addition, agroforestry systems may modify the soil P distribution among various pools with different labilities when some trees in the system uptake part of the resin-P and transform it into organic-P, (Szott and Melendez, 2001).

Although increased soil cation base is multiplied in agroforestry systems due to the capacity of the system to recycle nutrients (Buresh et al., 2004), there were differences between treatments for base cation retention. The ellipses in fig. 1 show how treatments differ from each other in terms of base cation contents. According to Moura et al. (2014), *clitoria* and *gliricidia* have a greater capacity to recover and maintain nutrients in soil than other leguminous materials used. This could account for the cluster where these leguminous are associated with main properties which determine sustainability of use of soil in humid tropics.

In addition, higher fractions of organic matter content, C-total and C-sand, suggest minor soil cohesion and enhanced physical conditions to maintain sustainability. The

association between C-organic and base cations, with increased contents of both, has been reported by some authors (Moore and Turunen, 2004; Whittinghill and Hobbie, 2012), as found in the *clitoria* + *gliricidia* treatment. Formation of cation bridges with products derived from decomposition of some applied biomass can affect fluxes of dissolved organic matter by stabilizing negatively charged organic matter through sorption to positively charged cations. This flocculation prevented biological, chemical, or physical breakdown, which explains the spatial association between calcium and SOM, (Oste et al., 2002). The retention of calcium and C-organic, as found in this study, can be crucial to enhancing soil rootability, to increase nutrient uptake in soil tropical conditions. In contrast, the association of acacia treatments with soil acidity showed that the use of a fast-growing nitrogen-fixer, may lead to soil acidification because the base cations that rapidly accumulate in its biomass are matched by the extrusion of H⁺ from its roots (Yamashita et al. 2008). It is worth highlighting that returning the litter does not allow recovery of the calcium contents in the soil profile during the experiment, (Moura et al. 2014). According to Binkley and Giardina (1997), because of the nitrogen-rich leaves in soils with nitrogen-fixing trees, the leaching of nitrate anions, which are present at high concentrations, promotes the loss of calcium from the soil profile due to its association with NO₃⁻. Each ion of NO₃⁻ in the soil solution is accompanied by slightly more than its equivalent in cations (Di and Cameron, 2004).

The differences in weight of root and shoot as well as in the quality of the cassava were greater when the humic acid was used. With or without humic acid the combination *gliricidia* + *clitoria* was greater for both, production and quality of the cassava. The higher content of starch in the combination with *gliricidia* without humic acid can be attributed to the greater capacity of cassava to take up potassium in these treatments.

Working with the same combinations of legumes Moura et al 2014 found higher K content in cotton in gliricidia + clitoria treatment, where the root-length density was also higher. K absorption is highly dependent on root activity, and vigorous growth of root systems is required to intercept and absorb available K (Sawyer and Mallarino, 2002). In turn, cassava requires a large amount of K, because it is a high-carbohydrate producer and K has a special role in carbohydrate synthesis and translocation, (John et al., 2010). An attempt to increase the weight of cassava roots through humic acid was hampered by antagonistic effects of some combinations of legumes on root growth. Thus, the utility of the effects on quantities and quality of cassava caused by leguminous biomass with humic acid cannot be evaluated without considering the negative effects of biomass on root growth. The treatments involving a combination with acacia clearly indicated that both were detrimental to the growth of cassava roots. Allelopathic substances normally released during decomposition of some tree residues can explain this outcome, (Fernandez et al., 2016). According to Luz et al. (2010), the effects of lupenone, which is a substance produced by *Acacia mangium*, may result in decreases in root growth by as much as 40% in several species. Root growth inhibition caused by mimosine present in leucaena has also been associated with reductions in the phenylalanine and peroxidase activities and lignin content, according to Andrade et al. (2008).

Higher amount of N released in combination with gliricidia might account for increased protein and decreased content of starch in cassava roots. According to Worthington (2001), when a plant uptakes a large amount of nitrogen, protein production increases and carbohydrate production is reduced; however, when nitrogen levels limit photosynthesis, proteins are not fully used in the synthesis of organic nitrogen compounds and sugars accumulate. No biomass treatment with or without humic acid modified the beta-carotene

contents in the roots, but it was increased by humic acid in *gliricidia + acaciae* treatments. Induction of biological activity by humic acids, influenced by functional groups and chemical composition, which provoke profuse rooting and increased root dry has been reported by some authors, such as, Canellas et al. (2010) and Jindo et al. (2012). In the fields, the usefulness of these processes to agriculture will be neutralized by negative interactions between crops and biomass applied to enhancing soil fertility as in acacia treatments.

Conclusion

Our results confirm that some leguminous biomass from an alley cropping system can contribute to sustainability of agrosystems by enhancing base cations and organic matter in tropical soil. In these circumstances, productivity of cassava can be increased by humic acid application, but negative interactions between crops and leguminous biomass from species like *Acacia mangium* can neutralize the positive effect of humic acid on root growth. A combination of leguminous biomass with high nitrogen release and lower antagonistic effects like *gliricidia + clitoria* can increase starch and protein contents in cassava. However, the beta-carotene content was not affected by no treatment.

REFERENCES

- Aguiar, A. C. F., Bicudo, S. J.; Costa Sobrinho, J. R. S.; Martins, A. L.S.; Coelho, K. P.; Moura, E.G. 2010. Nutrient recycling and physical indicators of an alley cropping system in sandy loam soil in the pre-Amazon region of Brazil. *Nutr Cycl Agroecosyst*, 86: 189-198.
- Aguiar, A. D. C. F., Cândido, C. S., Carvalho, C. S., Monroe, P. H. M., & de Moura, E. G. 2013. Organic matter fraction and pools of phosphorus as indicators of the impact of land use in the Amazonian periphery. *Ecological indicators*, 30, 158-164.
- Andrade, A.B. & Ferrarese, M.L.L. & Teixeira, A.F. & Ferrarese-Filho, Osvaldo. 2008. Mimosine-inhibited soybean (*Glycine max*) root growth, lignification and related enzymes. *Allelopathy Journal*. 21. 145-154.
- Basamba TA, Barrios E, Amézquita E, Rao IM, Singh BR. 2006. Tillage effects on maize yield in a Colombian savanna oxisol: Soil organic matter and P fractions. *Soil Tillage Res* 91:131–142
- Benites, V. M.; Madari, B.; machado, P. L. O. de A. 2003. Extração e fracionamento quantitativo de substâncias húmicas do solo: um procedimento simplificado de baixo custo. Embrapa solos. Comunicado Técnico, n.16, Rio de Janeiro.
- Binkley, D., Giardina, C., 1997. Nitrogen fixation in tropical forest plantations. In: Nambiar, E.K.S., Brown, A. (Eds.), *Management of Soil, Nutrients and Water in Tropical Plantation Forests*. CSIRO/ACIAR, Canberra, Australia, pp. 297–337
- Buresh, R. J. Rowe, E. C. Livesley, S. J. Cadisch, G. Mafongoya, P. 2004. Below-ground interactions in tropical agroecosystems: concepts and models with multiple plant

components. Opportunities for capture of deep soil nutrients. World Agroforestry Centre (ICRAF) SE Asia, PO Box 161, Bogor 16001, Indonesia, ISBN 0851996736, DOI 10.1079/9780851996738.0000

Candido, G A. et al. 2015. Avaliação da sustentabilidade de unidades de produção agroecológicas: um estudo comparativo dos métodos IDEA e MESMIS. *Ambient. soc.*, São Paulo , v. 18, n. 3, p. 99-120.

Canellas L. P, Olivares F. P., Okorokova-Facanha A. L. and Facanha A. R. 2002. Humic Acids Isolated from Earthworm Compost Enhance Root Elongation, Lateral Root Emergence, and Plasma Membrane H-ATPase Activity in Maize Roots Plant Physiology, December 2002, Vol. 130, pp. 1951–1957.

Costa, Ana Alexandra Vilela Marta Rio. 2010. Agricultura sustentável III: Indicadores. *Rev. de Ciências Agrárias*, Lisboa , v. 33, n. 2, p. 90-105, dez.

Daniells, Ian G. Hardsetting. 2012. Soils: a review. *Soil Research*, v. 50, n. 5, p. 349-359.

Di, H. J., & Cameron, K. C. 2004. Effects of the nitrification inhibitor dicyandiamide on potassium, magnesium and calcium leaching in grazed grassland. *Soil use and management*, 20(1), 2-7

Dragoeva, A.P., Koleva, V.P., Nanova, Z.D. and Georgiev, B.P. 2015. Allelopathic Effects of *Adonis vernalis* L.: Root Growth Inhibition and Cytogenetic Alterations. *Journal of Agricultural Chemistry and Environment*, 4, 48-55.

Fernandez C., Monnier Y., Santonja M., Gallet C., Weston L.A., Prévosto B., Saunier A., Baldy V. and Bousquet-Mélou A. 2016. The Impact of Competition and Allelopathy on the Trade-Off between Plant Defense and Growth in Two Contrasting Tree Species *Front Plant Sci.* 2016; 7: 594.

- Howeler R.H. 1991. Long-term effect of cassava cultivation on soil productivity. *Field Crops Research*, Volume 26, Issue 1, , Pages 1-18
- Jindo K., Aparecida Martim S., Navarro E. C., Pérez-Alfocea F., Hernandez T., Garcia C., Aguiar N. O., Canellas L. P. 2012. Root growth promotion by humic acids from composted and non-composted urban organic wastes *Plant and Soil* April 2012, Volume 353, Issue 1, pp 209–220
- Kaweewong, J., Kongkaew, T., Tawornprek, S., Yampracha, S., & Yost, R. 2013. Nitrogen requirements of cassava in selected soils of Thailand. *Journal of Agriculture and Rural Development in the Tropics and Subtropics (JARTS)*, 114(1), 13-19.
- Laird D., Fleming P., Wang B., Horton R., Karlen D. 2010. Biochar impact on nutrient leaching from a Midwestern agricultural soil. *Geoderma* Volume 158, Issues 3–4, 15 September 2010, Pages 436–442.
- Luz, S.M. et al . 2010. Atividade alelopática de substâncias químicas isoladas da *Acacia mangium* e suas variações em função do PH. *Planta daninha, Viçosa* , v. 28, n. 3, p. 479-487.
- Moore, T. R. and J. Turunen. 2004. Carbon accumulation and storage in mineral subsoil beneath peat. *Soil Science Society of America Journal* 68:690–96.
- Moura, E. G., Marques, E. S., Silva, T. M. B., Piedade, A. and Aguiar, A. C. F. 2014. Interactions among leguminous trees, crops and weeds in a no-till alley cropping system. *International Journal of Plant Production*, 8, 441-456.
- Moura, E. G., Aguiar, A. C. F., R. Piedade A. and Rousseau, G. 2015. Contribution of legume tree residues and macrofauna to the improvement of abiotic soil properties in the eastern Amazon. *Applied Soil Ecology*.

- Ngaboyisonga, C., Njoroge, N., Kirubi, D., Githiri, S.M. 2012. Quality protein maize under low N and drought environments: Endosperm modification, protein and tryptophan concentrations in grain, *Agric. J.* 7(5), 327-338.
- Oste, L. A., Lexmond, T. M., & Van Riemsdijk, W. H. 2002. Metal immobilization in soils using synthetic zeolites. *Journal of Environmental Quality*, 31(3), 813-821.
- Oste, L. A., Temminghoff, E. J., & Riemsdijk, W. V. 2002. Solid-solution partitioning of organic matter in soils as influenced by an increase in pH or Ca concentration. *Environmental science & technology*, 36(2), 208-214.
- Oste, L. A., Temminghoff, E. J., Lexmond, T. M., & Van Riemsdijk, W. H. 2002. Measuring and modeling zinc and cadmium binding by humic acid. *Analytical chemistry*, 74(4), 856-862.
- Oste, L. A., Lexmond, T. M., & Van Riemsdijk, W. H. 2002. Metal immobilization in soils using synthetic zeolites. *Journal of Environmental Quality*, 31(3), 813-821.
- Rodriguez-Amaya, D. B., & Kimura, M. 2004. HarvestPlus handbook for carotenoid analysis (Vol. 2). Washington: International Food Policy Research Institute (IFPRI).
- Sawyer, John E., and Antonio P. Mallarino. "Corn leaf potassium deficiency symptoms." 2002. <http://www.ipm.iastate.edu/ipm/icm/ipm/icm/2002/712002/cornleaf.html>
- Steiner C., Teixeira W. G., Lehmann J., Nehls T., de Macêdo J.I. · Blum W. E. H. · Zech W. 2007. Long term effects of manure, charcoal and mineral fertilization on crop production and fertility on a highly weathered Central Amazonian upland soil *Plant Soil* (2007) 291:275–290 .
- Szott, L.T. & Melendez, G. 2001. Phosphorus availability under annual cropping, alley cropping, and multistrata agroforestry systems. *Agrofor. Syst.*, 53:125-1132.

Yamashita, Y., Jaffé, R., Maie, N., & Tanoue, E. 2008. Assessing the dynamics of dissolved organic matter (DOM) in coastal environments by excitation emission matrix fluorescence and parallel factor analysis (EEM-PARAFAC). *Limnology and Oceanography*, 53(5), 1900-1908

TABLES AND FIGURES

Table 1
Physical and chemical attributes from the 0-10 and 10-20 cm soil layers.

	C	pH	P	K	Ca	Mg	BC	H+Al	CEC	PBS
Leguminous	g dm ⁻³	CaCl ₂				mmole dm ⁻³				%
	0 - 10 cm									

LC	21.20 a	4.81 a	49.31 b	3.07 ab	51.29 b	14.29 abc	69.43 b	53.85 a	128.66 ab	59.06 b
LA	22.21 a	4.84 a	50.28 b	2.73 ab	56.35 ab	12.93 bc	69.88 b	47.90 a	133.41 a	64.17 a
GC	22.93 a	4.87 a	52.96 ab	2.56 ab	60.07 a	17.43 a	81.11 a	51.34 a	131.34 ab	63.81 a
GA	21.78 a	4.81 a	61.90 ab	3.31 a	50.86 b	15.86 ab	70.83 b	53.05 a	130.85 ab	58.65 b
Control	20.49 a	4.71 a	67.30 a	2.07 b	54.38 ab	12.10 c	67.11 b	53.99 a	122.74 b	55.57 b
10 - 20 cm										
LC	18.22 AB	4.65 A	18.95 AB	1.07 A	47.14 A	9.95 A	57.89 A	66.55 A	120.86 A	48.81 A
LA	17.35 B	4.54 AB	23.05 A	0.94 AB	39.85 A	8.44 A	59.18 A	65.98 A	118.90 A	46.46 A
GC	19.73 A	4.55 AB	23.23 A	1.35 A	45.58 A	6.75 AB	54.76 AB	65.63 A	122.77 A	45.08 AB
GA	17.30 B	4.51 AB	20.96 AB	1.23 A	38.50 A	7.88 AB	48.60 B	66.51 A	114.74 A	42.80 AB
Control	17.02 B	4.46 B	14.07 B	0.58 B	40.22 A	5.15 B	47.14 B	71.55 A	118.42 A	39.40 B

Means with different lowercase letters in the columns differ between itself by Tukey at 5% for 0-10 cm depth, while means with different uppercase letters in the columns differ between itself for 10-20 cm depth, LC - Leucaena + Clitoria; LA - Leucaena + Acacia; GC - Gliricidia + Clitoria; GA - Gliricidia + Acacia; BC - Sum of bases; CEC - cation exchange capacity; PBS - base saturation.

Table 2

Yield and nutritional components in experimental treatments between leguminous with/without humic acids.

Leguminous	Root Dry Matter (Mg ha ⁻¹)	Dry matter of the Aerial Part (Mg ha ⁻¹)	Betacarotene (mg 100g ⁻¹)	Starch (%)	Proteins (%)
Without Humic Acids					
L+C	18.80 a	15.4 a	0.67 a	5.59 b	1,37 a
L+A	27.40 a	18.20 a	0.70 a	8.24 b	0,80 c
G+C	27.20 a	19.20 a	0.68 a	16.39 a	1,15 ab
G+A	26.20 a	19.20 a	0.62 a	17.79 a	1,05 b
Control	27.00 a	14.20 a	0.75 a	10.75 b	0,68 c
With Humic Acids					
L+C	30.60 BC	20.00 AB	0.87 A	16.45 AB	1,22 AB
L+A	23.60 CD	16.00 B	0.82 A	21.42 A	0,86 C
G+C	36.60 AB	24.20 A	0.74 A	15.43 B	1,35 A
G+A	18.60 D	18.20 AB	0.98 A	15.00 B	1,33 A
Control	43.60 A	25.40 A	0.62 A	15.91 AB	0,98 BC

Means with different lowercase letters in the columns differ between itself by Tukey at 5% for leguminous without humic acids, while means with different uppercase letters in the columns differ between itself for leguminous with humic acids, LC - Leucaena + Clitoria; LA - Leucaena + Acacia; GC - Gliricidia + Clitoria; GA - Gliricidia + Acacia.

Table 3

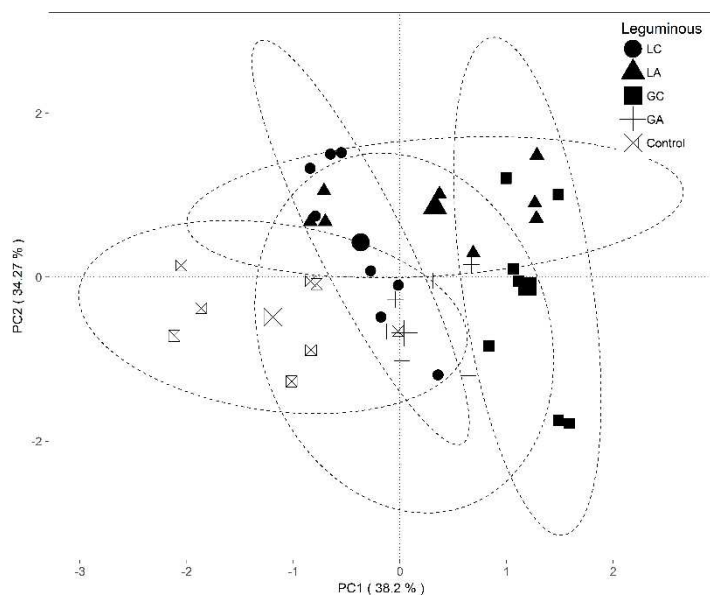
Yield and nutritional components in experimental treatments of leguminous with/without humic acids for combination pair

Humic Acids	Root Dry Matter (Mg ha ⁻¹)	Dry matter of the Aerial Part (Mg ha ⁻¹)	Betacarotene (mg 100g ⁻¹)	Starch (%)	Proteins (%)
Leucaena + Clitoria					
Without	18.80*	15.40 ^{ns}	0.67 ^{ns}	5.59*	1,37 ^{ns}
With	30.60*	20.00 ^{ns}	0.87 ^{ns}	16.45*	1,22 ^{ns}

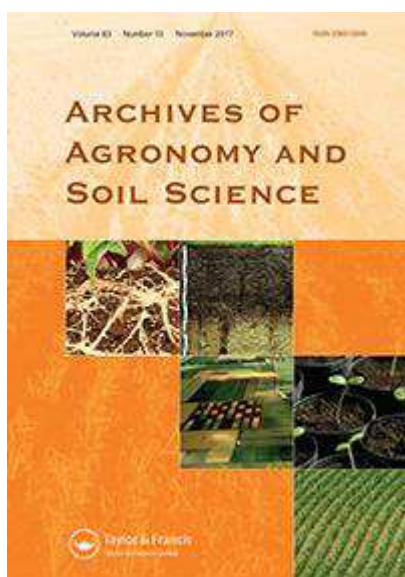
Leucaena + Acacia					
Without	27.40 ^{ns}	18.20 ^{ns}	0.70 ^{ns}	8.24*	0,80 ^{ns}
With	23.60 ^{ns}	16.00 ^{ns}	0.82 ^{ns}	21.42*	0,86 ^{ns}
Gliricidia + Clitoria					
Without	27.20*	19.20 ^{ns}	0.68 ^{ns}	16.39 ^{ns}	1,15 ^{ns}
With	36.60*	24.20 ^{ns}	0.74 ^{ns}	15.43 ^{ns}	1,35 ^{ns}
Gliricidia + Acacia					
Without	26.00 ^{ns}	19.20 ^{ns}	0.62*	17.79 ^{ns}	1,05*
With	18.60 ^{ns}	18.20 ^{ns}	0.98*	15.00 ^{ns}	1,33*
Control					
Without	26.80*	14.20*	0.75 ^{ns}	10.75*	0,68*
With	43.60*	25.40*	0.62 ^{ns}	15.91*	0,98*

* Means differ between itself by Tukey at 5%; ^{ns}Not significant.

Fig. 1. Ordination diagram produced by principal component analysis of physical and chemical attributes from the 0-10 cm soil layer. Treatments: LC - Leucaena + Clitoria; LA - Leucaena + Acacia; GC - Gliricidia + Clitoria; GA - Gliricidia +Acacia; SB – Sum of bases; CEC - cation exchange capacity; V% – base saturation; FLF - free light fraction; IALF - intra-aggregate light fraction.



ANEXOS



Advice to authors on preparing a manuscript

Please follow any specific Instructions for Authors provided by the Editor of the journal, which are available on the journal pages at www.tandfonline.com. Please also see our guidance on putting your article together, defining authorship and anonymizing your article for peer review.

We recommend that you use our templates to prepare your article, but if you prefer not to use templates this guide will help you prepare your article for review.

If your article is accepted for publication, the manuscript will be copyedited and typeset in the correct style for the journal.

Font: Times New Roman, 12 point, double-line spaced. Use margins of at least 2.5 cm (or 1 inch). Guidance on how to insert special characters, accents and diacritics is available [here](#).

Title: Use bold for your article title, with an initial capital letter for any proper nouns.

Abstract: Indicate the abstract paragraph with a heading or by reducing the font size. Check whether the journal requires a structured abstract or graphical abstract by reading the Instructions for Authors. The Instructions for Authors may also give word limits for your abstract. Advice on writing abstracts is available [here](#).

Keywords: Please provide keywords to help readers find your article. If the Instructions for Authors do not give a number of keywords to provide, please give five or six. Advice on selecting suitable keywords is available [here](#).

Headings: Please indicate the level of the section headings in your article:

- First-level headings (e.g. Introduction, Conclusion) should be in bold, with an initial capital letter for any proper nouns.
- Second-level headings should be in bold italics, with an initial capital letter for any proper nouns.

- Third-level headings should be in italics, with an initial capital letter for any proper nouns.
- Fourth-level headings should be in bold italics, at the beginning of a paragraph. The text follows immediately after a full stop (full point) or other punctuation mark.
- Fifth-level headings should be in italics, at the beginning of a paragraph. The text follows immediately after a full stop (full point) or other punctuation mark.

Tables and figures: Indicate in the text where the tables and figures should appear, for example by inserting [Table 1 near here]. The actual tables should be supplied either at the end of the text or in a separate file. The actual figures should be supplied as separate files. The journal Editor's preference will be detailed in the Instructions for Authors or in the guidance on the submission system. Ensure you have permission to use any tables or figures you are reproducing from another source.

- Advice on obtaining permission for third party material is available here.
- Advice on preparation of artwork is available here.
- Advice on tables is available here.

Running heads and **received dates** are not required when submitting a manuscript for review; they will be added during the production process.

Spelling and punctuation: Each journal will have a preference for spelling and punctuation, which is detailed in the Instructions for Authors. Please ensure whichever spelling and punctuation style you use is applied consistently.

If you have any queries...

If you need further advice, please contact us at authorqueries@tandf.co.uk giving the full title of the journal to which you are planning to submit, or see our **Author Services website**.