

Compostagem e hidrólise alcalina da casca de coco seco usada como cama de ovinos



**Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Tabuleiros Costeiros
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**

**BOLETIM DE PESQUISA
E DESENVOLVIMENTO
177**

**Compostagem e hidrólise alcalina da casca
de coco seco usada como cama de ovinos**

*Tâmara Cláudia de Araújo Gomes
João Pedro de Castro e Silva
Philipe Lima de Amorim
Luciélío Manoel da Silva
Maria Fernanda Silva Santos
José Marcone da Silva*

**Embrapa Tabuleiros Costeiros
Aracaju, SE
2022**

Embrapa Tabuleiros Costeiros
Av. Gov. Paulo Barreto de Menezes, nº 3250
CEP 49025-040, Aracaju, SE
Fone: +55 (79) 4009-1300
www.embrapa.br
www.embrapa.br/fale-conosco/sac

Unidade responsável pelo conteúdo e edição:

Embrapa Tabuleiros Costeiros

Comitê Local de Publicações
da Unidade Responsável

Presidente
Viviane Talamini

Secretário-Executivo
Ubiratan Piovezan

Membros
*Aldomário Santo Negrisoli Júnior, Ana da
Silva Lédo, Angela Puchnick Legat, Elío
Cesar Guzzo, Fabio Enrique Torresan, Josué
Francisco da Silva Junior, Julio Roberto Araujo
de Amorim, Emiliano Fernandes Nassau Costa,
Renata da Silva Bomfim Gomes*

Supervisão editorial e editoração eletrônica
Aline Gonçalves Moura

Normalização bibliográfica
Josete Cunha Melo

Projeto gráfico da coleção
Carlos Eduardo Felice Barbeiro

Foto da capa
Tâmara Cláudia de Araújo Gomes

1ª edição
Publicação digital - PDF (2022)

Todos os direitos reservados

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte,
constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Embrapa Tabuleiros Costeiros

Compostagem e hidrólise alcalina da casca de coco seco usada como cama de ovinos /
Tâmara Claudia de Araújo Gomes... [et al.]. – Aracaju : Embrapa Tabuleiros Costeiros,
2022.

24 p. : il. (Boletim de Pesquisa / Embrapa Tabuleiros Costeiros, ISSN 1678-1961; 177).

1. Coco seco. 2. Compostagem. 3. Casca de coco. 4. Reciclagem. 5. Resíduo
orgânico. I. Gomes, Tâmara Claudia de Araújo. II. Silva, João Pedro de Castro e. III.
Amorim, Philipe Lima de. IV. Silva, Luciélio Manoel da. V. Santos, Maria Fernanda
Silva. VI. Silva, José Marcone da. VII. Série.

CDD 634.61

Sumário

Resumo	5
Abstract	7
Introdução.....	8
Material e Métodos	9
Resultados e Discussão	12
Conclusões.....	20
Agradecimentos.....	20
Referências	20

Compostagem e hidrólise alcalina da casca de coco seco usada como cama de ovinos

Tâmara Cláudia de Araújo Gomes¹

João Pedro de Castro e Silva²

Philippe Lima de Amorim³

Luciélío Manoel da Silva⁴

Maria Fernanda Silva Santos⁵

José Marcone da Silva⁶

Resumo – A compostagem a partir do aproveitamento da casca de coco seco (CCS) é dificultada por sua lenta degradação. O objetivo do presente trabalho foi avaliar a aceleração da compostagem da CCS por meio da hidrólise alcalina com cal hidratada e sua utilização prévia como cama de ovinos (Cov). Utilizaram-se 2 % de cal em relação a massa seca de CCS tratada. Após 60 dias como camas de ovinos, a CCS foi enleirada e estabelecidos os tratamentos: Cov de CCS hidrolisada; Cov de CCS não hidrolisada; CCS hidrolisada + sulfato de amônio; CCS não hidrolisada + sulfato de amônio; CCS hidrolisada e CCS não hidrolisada. Amostras foram coletadas aos 31 dias após a colocação dos animais e aos 1, 18, 53, 116 e 172 dias após o enleiramento. Observou-se a necessidade de ajuste do tempo de permanência da CCS no aprisco, o qual poderá ser reduzido. Os compostos apresentaram valores de C, N, relação C/N e CTC dentro dos limites fixados pela legislação vigente. O uso da CCS hidrolisada com cal hidratada como cama de ovinos, reduziu os teores de lignina em 51,87% em relação à CCS

¹ Engenheira-agrônoma, doutora em Solos e Nutrição de Plantas, pesquisadora da Unidade de Execução de Pesquisa de Rio Largo (UEP Rio Largo) da Embrapa Tabuleiros Costeiros, Rio Largo, AL.

² Graduando em Engenharia Agrônoma, Universidade Federal de Alagoas (UFAL), bolsista do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), Rio Largo, AL.

³ Zootecnista, doutor em Zootecnia, professor da Universidade Federal de Alagoas (UFAL), Centro de Ciências Agrárias, Rio Largo, AL.

⁴ Engenheiro-agrônomo, doutor em Solos e Nutrição de Plantas, analista da Unidade de Execução de Pesquisa de Rio Largo (UEP Rio Largo) da Embrapa Tabuleiros Costeiros, Rio Largo, AL.

⁵ Graduando em Engenharia Agrônoma, Universidade Federal de Alagoas (UFAL), bolsista da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Alagoas (FAPEAL), Rio Largo, AL.

⁶ Graduando em Engenharia Agrônoma, Universidade Federal de Alagoas (UFAL), bolsista da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Alagoas (FAPEAL), Rio Largo, AL.

não hidrolisada, constituindo uma estratégia adequada para acelerar a compostagem desse resíduo.

Termos para indexação: Reciclagem da casca de coco seco, resíduos agroindustriais, fibra de coco, cal hidratada, fertilizante orgânico.

Composting and alkaline hydrolysis of mature coconut husk used as sheep bedding

Abstract – Composting using mature coconut husk (MCH) is hampered by its slow degradation. The objective of the present work was to evaluate the acceleration of MCH composting through alkaline hydrolysis with hydrated lime and its previous use as sheep bedding (SB). 2% lime was used in relation to the dry mass of treated MCH. After 60 days, the MCH was piled up and the following treatments were established: SB of hydrolyzed MCH; SB of unhydrolyzed MCH; hydrolyzed MCH + ammonium sulfate; unhydrolyzed MCH + ammonium sulfate; hydrolyzed MCH and non-hydrolyzed MCH. Samples were collected 31 days after placing the animals and at 1, 18, 53, 116 and 172 days after line-up. There was a need to adjust the time spent by MCH in the pen, which could be reduced. The organic composts showed values of C, N, C/N ratio and CEC within the limits set by current legislation. The use of hydrolyzed MCH with hydrated lime as sheep bedding reduced lignin levels by 51.87% compared to non-hydrolyzed MCH, constituting an adequate strategy to accelerate the composting of this waste.

Index terms: Recycling of mature coconut husk, agro-industrial waste, coconut fiber, hydrated lime, organic fertilizer.

Introdução

No Brasil, a agroindústria da polpa do coco seco, gera volumes significativos de resíduos. De acordo com os últimos dados fornecidos pelo IBGE, a produção nacional de coco alcançou 1,638 bilhão de frutos na safra 2021 (IBGE, 2022)., sendo o quinto maior produtor mundial (Rocha et al., 2022). Para fins não agrícolas, apenas parte das cascas geradas por esta grande quantidade de frutos é aproveitada e o excedente resulta em grandes problemas ambientais. Martins et al. (2016) indicam 21 alternativas de aproveitamento dos subprodutos do coco, dos quais, para fins agrícolas, refere-se apenas à sua aplicabilidade como substrato.

Uma vez que o descascamento dos frutos maduros é realizado na área de produção, são os produtores de coco seco que assumem o passivo ambiental da geração das cascas decorrentes da industrialização do coco. Nos coqueirais, esse resíduo aumenta o risco de incêndio, favorece a multiplicação de agentes causadores de problemas fitossanitários prejudiciais à própria cultura do coqueiro (Nunes, 2017) e seu lixiviado contém compostos fenólicos que percolam através do solo e contaminam as águas subterrâneas (Gundupalli et al., 2020).

A reciclagem de resíduos orgânicos por meio da compostagem constitui uma alternativa importante para viabilizar o uso agrícola das cascas de coco. A integração da ovinocultura em áreas de produção de coco maduro viabilizaria o processamento do composto na propriedade agrícola por disponibilizar uma importante fonte de nitrogênio para compostagem. Além disso, aumentaria a eficiência de uso da terra, tornando-a mais lucrativa pela integração lavoura – pecuária (Rangel et al., 2017), alcançando bons índices de produtividade, sem causar danos ao sistema produtivo (Cavalcante et al., 2004) e reduziria custos com tratamentos culturais (Guimarães Filho; Soares, 2003).

No entanto, a lenta degradação das cascas de coco dificulta o tratamento do composto e torna o processo demorado. Com relação C/N que varia de 74:1 a 186:1 (Rosa et al., 2002) e teor de lignina entre 37 e 44% (Corradine et al., 2009), a compostagem da casca de coco seco exige um maior tempo de processamento.

A biomassa lignocelulósica é composta principalmente por celulose, hemicelulose e lignina em uma estrutura física complexa (Luo et al., 2018),

sendo necessário o uso de um pré-tratamento que facilite o acesso dos microrganismos à parede celular. O pré-tratamento químico é o método mais comum para a degradação de componentes da biomassa lignocelulósica e para modificar ou remover a lignina e a hemicelulose (Norrrahim et al., 2021). A efetividade de cada método depende da natureza do substrato utilizado. O tratamento com líquidos ácidos, alcalinos e iônicos é adequado para biomassa lignocelulósica com alto teor de lignina (Gundupalli et al., 2022), como a das cascas de coco maduro. Em comparação com outros métodos, o pré-tratamento alcalino solubiliza parcial ou totalmente a lignina encontrada na biomassa, dependendo das condições em que é empregado (Modenbach; Nokes, 2014). Esse processo envolve o uso de hidróxido de sódio (NaOH), hidróxido de cálcio (Ca(OH)_2), hidróxido de potássio (KOH) ou hidróxido de amônio (NH_4OH) para despolimerizar a lignina presente na biomassa lignocelulósica (Gundupalli et al., 2020). Neste sentido, a hidrólise alcalina proporcionada por materiais baratos e de simplicidade operacional como a cal hidratada [Ca(OH)_2] (Mota et al., 2010) pode auxiliar na aceleração da degradação da fibra da casca de coco e facilitar a compostagem.

No presente trabalho, a compostagem da casca de coco seco (CCS) submetida à hidrólise com cal hidratada, utilizada como cama de ovinos ou adicionada de sulfato de amônio, é estudada como uma estratégia de reciclagem e uso agrícola desses resíduos.

Material e Métodos

Estudou-se o processo de compostagem da casca de coco seco triturada, submetida ou não ao pré-tratamento com cal hidratada (hidrólise alcalina) e utilizada como cama de ovinos, previamente à montagem das leiras. O ensaio de compostagem foi realizado no município de Barra de Santo Antônio, AL, em área de produção de coqueiro gigante (Latitude 09°22'25,72" S; Longitude 35°29'21,92" O), integrante da Associação dos Produtores de Coco do Estado de Alagoas (Prococo). Segundo a classificação de Köppen, o clima da região é tropical com chuvas de outono-inverno (As'), com uma estação seca bem definida (Barros et al., 2012). O período chuvoso tem início em fevereiro e término em outubro. A precipitação média anual é de 1.634,2 mm (Mascarenhas et al., 2005).

A montagem da cama consistiu na disposição de 660 kg de CCS (base seca) em um aprisco de 56 m², dividido em dois compartimentos. O pré-tratamento da cama de ovinos consistiu na aplicação de cal hidratada na proporção de 2% da massa seca de CCS de um dos compartimentos (Figura 1 A). O experimento foi implantado no dia 18 de março de 2019, três dias após a aplicação da cal, quando 50 animais, sendo 48 adultos e 2 filhotes, foram colocados em cada um dos dois compartimentos do aprisco para pernoitar sobre a cama de CCS tratada e não tratada.

Após 60 dias, as camas de ovinos foram levadas para o pátio de compostagem para confecção das leiras em formato trapezoidal e dimensões de 2 m x 2 m x 1,50 m (largura x comprimento x altura) (Figura 1B). Os tratamentos foram avaliados segundo o delineamento inteiramente casualizado, representados por uma leira, cada um: Cama de ovinos com CCS hidrolisada (P1) e Cama de ovinos com CCS não hidrolisada (P2). Alternativamente à indisponibilidade de esterco ovino como fonte nitrogenada, acrescentaram-se dois tratamentos: CCS hidrolisada + sulfato de amônio (P3) e CCS não hidrolisada + sulfato de amônio (P4). O sulfato de amônio foi aplicado em quantidade suficiente para se alcançar uma relação C/N inicial de 30/1. Leiras apenas com CCS hidrolisada (P5) e CCS não hidrolisada (P6) foram estabelecidas como testemunhas. Exceto as leiras testemunhas, nas quais objetivou-se simular a degradação natural da casca de coco, nos principais eventos de chuva, as demais leiras foram protegidas com lona. Amostras da cama de ovino foram coletadas 31 dias após a colocação dos animais (fase de cama de ovinos) e aos 1, 18, 53, 116 e 172 dias após a montagem das leiras. As amostras, em número de quatro, foram coletadas aleatoriamente nas camas dos ovinos e no interior das leiras.



Figura 1. Camas de ovinos de casca de coco seco hidrolisada com cal hidratada (lado com fibra escura) ou não hidrolisada (lado com fibra clara) (A) e leira montada para início da fase de compostagem (B), Barra de Santo Antônio, AL, 2019.

Avaliações, análises químicas e estatísticas

As amostras foram secas a 60 °C, trituradas em moinho tipo Willey e passadas por peneira de 0,5 mm. Foram determinadas o pH e a condutividade elétrica (CE) em água na relação composto:água igual a 1:10; carbono orgânico (CO) total por Yeomans e Bremner (1988); nitrogênio (N) orgânico total por pelo método Kjeldahl; capacidade de troca de cátions (CTC), conforme adaptação da determinação da CTC em turfa (Williams, 1984) descrita por Rodella e Alcarde (1994). A partir das determinações de C orgânico total, N total e CTC foram calculadas as relações C/N e CTC/C. A fibra insolúvel em detergente neutro (FDN), fibra insolúvel em detergente ácido (FDA), bem como o teor de lignina foram determinados conforme proposto por Van Soest e Wine (1968). O teor de hemicelulose foi calculado como a diferença entre os teores de FDN e FDA e o teor de celulose, subtraindo-se o teor de lignina do teor de FDA.

Para a comparação dos materiais (hidrolisado ou não) obtidos durante a fase de cama de ovinos utilizou-se o teste F a 5% de probabilidade (Anava). Por sua vez, os dados obtidos durante a fase de compostagem foram submetidos à análise de variância e as médias, comparadas por meio do teste de agrupamento de Scott-Knott, a 5% de probabilidade. O efeito do tempo de compostagem sobre as frações fibrosas dos compostos e resíduos ao longo do processo de compostagem, foi avaliado por meio de análise de regressão,

tendo-se utilizado o programa Sisvar 5.8 (Ferreira, 2011). As figuras foram construídas com os valores médios das variáveis, utilizando o Software Excel, da Microsoft.

Resultados e Discussão

Evolução química durante a compostagem

Características químicas das camas de ovinos de CCS hidrolisada ou não, antes do estabelecimento das leiras de composto, são mostradas na Tabela 1. Diferenças estatísticas só foram observadas quanto ao pH e teor de carbono orgânico, sugerindo a maior influência dos dejetos animais que da aplicação da cal. A baixa relação C/N observada tanto na cama de ovinos P1 quanto na P2, sugere a necessidade de ajustes quanto ao período de permanência da CCS no aprisco, o qual poderá ser reduzido.

Tabela 1. Cama de ovinos de casca de coco seco (CCS) hidrolisada ou não com cal hidratada, aos 31 dias após a colocação dos animais, Barra de Santo Antônio, AL, 2019.

Tratamento	pH- H ₂ O ^{1/}	CE ^{2/} (mS cm ⁻¹)	CO ^{2/} (g kg ⁻¹)	N ^{3/} (g kg ⁻¹)	Relação C/N	CTC ^{4/} (mmol _c kg ⁻¹)	CTC/CO ^{5/} (mmol _c g ⁻¹)	Hem.	Cel.	Lig.
								(%)		
Cama de CCS hidrolisada	7,4 b	6,16 a	357,7 a	15,1 a	23,71a	641,1 a	1,8 a	12,8 a	30,6 a	32,0 a
Cama de CCS não hidrolisada	7,7 a	6,26 a	349,7 b	16,2 a	22,08a	647,9 a	1,9 a	13,7 a	30,1 a	30,5 a
CV (%)	1,37	7,32	0,85	10,88	11,83	6,62	7,32	8,02	7,87	3,07

Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas na coluna, não diferem entre si pelo teste F a 5% de probabilidade. ^{1/} Relação sólido: solução 1:10; ^{2/} Carbono orgânico (Yeomans e Bremner, 1988); ^{3/} Nitrogênio, Kjeldahl (Miller e Keeney, 1982); ^{4/} Capacidade de Troca Catiônica (Rodella e Alcarde, 1994); ^{5/} Relação capacidade de troca catiônica por unidade de carbono; Hem. = Hemicelulose; Cel = Celulose; Lig = Lignina.

Ao longo do período de compostagem avaliado, o comportamento do pH nas leiras mostrou três padrões distintos, os quais refletiram, principalmente, o efeito dos ovinos durante a fase de cama (P1 e P2) e o uso do sulfato de amônio (P3 e P4). Nos tratamentos onde se utilizou a cama de ovinos (P1 e P2), o pH das leiras se manteve alcalino ao longo de todo o período de processamento dos compostos, não tendo sido influenciado pela aplicação da cal. Nas leiras P3 e P4, o efeito acidificante resultante da adição do sulfato de amônio é atribuído à reação ácida desse fertilizante, o qual liberaria H⁺ para

o meio (Lima, 2006). As leiras contendo apenas resíduos tratados ou não com cal (P5 e P6), se mantiveram com valores intermediários. De uma forma geral, não foram observadas grandes variações de pH em função da hidrólise alcalina resultante do uso da cal nem do tempo de compostagem, apesar de diferenças estatísticas terem sido observadas (Tabela 2).

Tabela 2. Compostos orgânicos formulados com cascas de coco seco (CCS) hidrolisadas ou não, utilizadas como cama de ovinos ou adicionadas de sulfato de amônio, no início e no final do processo de compostagem (respectivamente, no 1º e 172º dia desde o enleiramento), Barra de Santo Antônio, AL, 2019.

Características	Tratamentos						CV(%)	Teor/ valor mínimo ^{6/}	
	P1	P2	P3	P4	P5	P6			
pH-H ₂ O ^{1/}	Inicial	7,8 A a	8,1 A a	4,3 A c	3,8 A d	5,5 A b	5,2 A b	5,18	-
	Final	7,4 B b	7,8 B a	3,8 A e	3,6 A e	6,1 A c	5,7 B d	3,53	
	CV(%)	1,80	1,59	8,56	7,72	6,89	3,92		
CE (mS cm ⁻¹) ^{1/}	Inicial	7,63 A a	9,40 A a	10,21 A a	9,66 A a	4,61 A b	4,74 A b	20,42	-
	Final	9,48 A a	9,63 A a	7,59 B b	7,97 A b	0,84 B c	0,96 B c	7,48	
	CV(%)	17,05	9,99	12,77	29,48	10,79	7,24		
CO (g kg ⁻¹) ^{2/}	Inicial	325,4 A c	340,2 A c	364,5 A b	379,5 A b	402,6 A a	399,2 A a	3,62	150,0
	Final	293,9 B c	286,5 B c	352,6 A b	370,9 A b	384,0 B a	396,2 A a	4,36	
	CV(%)	4,02	2,68	5,96	4,47	1,96	3,92		
N (g kg ⁻¹) ^{3/}	Inicial	18,7 A a	18,4 B a	14,8 A a	14,6 A a	4,2 A b	4,0 A b	34,31	5,0
	Final	21,1 A a	22,5 A a	15,9 A b	15,7 A b	3,9 A c	4,4 A c	12,32	
	CV(%)	10,05	9,43	26,18	39,96	7,50	7,45		
Relação C/N	Inicial	17,6 A a	18,8 A a	27,3 A a	33,5 A a	96,4 A b	99,8 A b	20,11	20,0*
	Final	14,0 B a	12,8 B a	22,5 A b	24,0 A b	97,8 A c	89,4 A c	10,36	
	CV(%)	12,19	15,25	30,84	46,59	6,72	7,78		
CTC (mmol _c kg ⁻¹) ^{4/}	Inicial	755,6 B b	825,1 B a	325,5 B d	290,5 A d	407,9 B c	408,2 B c	8,89	200,0**
	Final	872,1 A a	895,4 A a	450,3 A b	331,1 A c	456,1 A b	455,1 A c	6,14	
	CV(%)	4,67	2,11	18,44	9,81	5,36	3,24		
CTC/CO (mmol _c g ⁻¹) ^{5/}	Inicial	2,3 B a	2,4 B a	0,9 B c	0,8 B c	1,0 A b	1,0 A b	8,48	-
	Final	3,0 A a	3,1 A a	1,3 A b	0,9 A c	1,2 A b	1,2 A b	8,08	
	CV(%)	6,18	4,76	18,32	6,07	6,66	7,31		

P1 = Cama de ovinos com CCS hidrolisada; P2 = Cama de ovinos com CCS não hidrolisada; P3 = CCS hidrolisada + sulfato de amônio; P4 = CCS não hidrolisada + sulfato de amônio; P5 = CCS hidrolisada; P6 = CCS não hidrolisada. SA = sulfato de amônio. Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas na linha e maiúsculas comparando valores iniciais e finais em uma mesma variável na coluna, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. ^{1/}Relação sólido: solução 1:10; ^{2/}Carbono orgânico (Yeomans e Bremner, 1988); ^{3/}Nitrogênio, Kjeldahl (Miller e Keeney, 1982); ^{4/}Capacidade de Troca Catiônica (Rodella e Alcarde, 1994); ^{5/} Relação capacidade de troca catiônica por unidade de carbono; ^{6/}Especificações de fertilizantes orgânicos compostos da Instrução Normativa nº 61, de 8 de julho de 2020, do Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (Instrução, 2020); * Valor máximo; **Especificações de condicionadores de solo da Instrução Normativa SDA nº 35, de 4 de julho de 2006 do Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (Instrução, 2006).

Os sais solúveis, estimados pela determinação da condutividade elétrica, de uma forma geral, foram bastante elevados no início do período de compostagem, com valores médios variando entre 4,61 a 10,21 mS cm⁻¹. É possível que o enriquecimento da CCS com sulfato de amônio, que naturalmente possui de média a alta salinidade (Rosa et al., 2002), tenha contribuído para os altos valores da CE nas leiras P3 a P4. Estes, no entanto, não diferiram da CE das leiras montadas com camas de ovinos (P1 e P2), as quais já eram elevadas mesmo antes do enleiramento (Tabela 1), ressaltando a influência dos dejetos dos animais. No decorrer da compostagem, no entanto, observou-se a drástica queda da CE nas leiras de CCS hidrolisada ou não (testemunhas P5 e P6) sugerindo forte redução de sais, os quais podem ser facilmente lixiviados pela chuva (Rosa et al., 2002).

O acúmulo de sais no solo pode resultar em danos aos cultivos, bem como afetar a estrutura do solo (Schoeneau, 2005), apesar de tender a diminuir devido à remoção de nutrientes pelas culturas e lixiviação (Zhang et al., 2006). Neste sentido, o composto produzido poderá ser principalmente destinado à cultura do coqueiro devido à sua tolerância à salinidade. Em cultivo de coqueiro anão verde, Ferreira Neto et al. (2007) observaram índices de produtividade com águas de irrigação com CE de 10mS cm⁻¹, semelhantes àquelas com água de baixa salinidade. Ademais, problemas no solo associados à salinidade podem ser superados pelo manejo das doses e intervalos curtos de aplicação do composto (Seneviratne et al., 2011). De acordo com a dose do composto, a alta CE pode produzir efeitos negativos nas raízes quando usado como substrato (Salgado et al., 2019), mas não como fertilizante (Machado; Serralheiro, 2017).

Os teores iniciais de CO na CCS estiveram em torno dos 400 g kg⁻¹. As leiras P1 e P2 diferiram das demais, tanto no início quanto no final da compostagem, por seus menores teores de CO, atestando o significativo efeito da fase de cama de ovinos (pisoteio e dejetos) na aceleração da degradação da CCS. Após o enleiramento, os teores de CO diminuíram significativamente apenas nas leiras onde se utilizou a CCS como cama de ovinos (em torno de 18%) e na testemunha hidrolisada P5 (5%). Tais decréscimos têm sido previamente relatados e relacionados à mineralização do C orgânico o qual resulta em evolução de CO₂ (Said-Pullicino et al., 2007).

Apenas a leira P2 apresentou aumento significativo dos teores de N durante a compostagem (38%), apesar de numericamente ser muito próximo ao aumento observado em P1 (40%). Como produtos da ação dos microrganismos sobre a mineralização da matéria orgânica, tem-se a liberação de dióxido de carbono e água, substâncias húmicas estabilizadas, sais inorgânicos, além do desprendimento de energia térmica (Hao et al., 2004). O aumento verificado sobre os teores de N é consequência da concentração causada pela perda de massa da leira (Sánchez Monedero et al., 2001). Aos 172 dias de compostagem, os teores de N das leiras P1 e P2 foram 378 e 408 % maiores que o do resíduo não tratado (P6).

Por sua vez, a relação C/N final nas leiras variou de 99,8 a 12,8, observando-se valor máximo em P5 (CCS hidrolisada) e o menor, em P2. A relação C/N é frequentemente utilizada como indicadora da maturidade de compostos, tendo Bernal et al. (1988) estabelecido $C/N < 12$ como índice de maturidade. Por outro lado, Sellami et al. (2008) ponderam que devido à grande variabilidade na composição das matérias-primas, a relação C/N não é um bom indicativo de maturidade do composto, podendo não refletir um material suficientemente decomposto.

Comparando-se o comportamento ao longo do processo da compostagem, observou-se que os valores da relação C/N diminuíram significativamente apenas em P1 e P2 (em torno de 20 e 32%, respectivamente). Uma vez que o C é uma fonte de energia para os microrganismos e o N é necessário para a síntese celular (Kadir et al., 2017), durante os estágios iniciais da compostagem, o uso de C metabólico é muito maior que o N, resultando na diminuição na relação C/N (Wu et al., 2010).

Em P3 e P4, embora tenha-se observado reduções na relação C/N em torno, respectivamente, de 18 e 29%, os altos coeficientes de variação (CV) encontrados nos dados desses tratamentos (31 e 47%, respectivamente) podem ter interferido, visto que menor será a precisão experimental e maiores diferenças entre estimativas de médias serão necessárias para que sejam significativas (Cargnelutti Filho; Storck, 2007).

O aumento da oxidação e decomposição da matéria orgânica também leva ao aumento da CTC (Roig et al., 1988; Lax et al., 1986). No início da fase de compostagem a relação CTC/CO variou de 0,8 a 2,4 $\text{mmol} \cdot \text{g}^{-1}$, com os maiores valores sendo observados em P1 e P2 (respectivamente,

2,3 e 2,4 $\text{mmol}_c \text{g}^{-1}$) e as menores em P3 e P4 (respectivamente, 0,9 e 0,8 $\text{mmol}_c \text{g}^{-1}$). Ao final do período de compostagem, observou-se o aumento significativo da razão CTC/CO nos compostos P1 (158 %) e P2 (172 %), em relação ao resíduo natural (leira P6). Nas demais leiras, praticamente não houve alteração. Roig et al. (1988) propuseram a relação CTC/CO de 1,7 como o limite mínimo de humificação para esterco. Raj e Antil (2011) consideram este limite como o menor valor aceitável para a aplicação de compostos de resíduos agroindustriais no solo. Do ponto de vista agrônomo, a relação CTC/CO permite uma melhor caracterização dos compostos, uma vez que diz respeito à capacidade de retenção de nutrientes que o composto pode proporcionar ao ser incorporado ao solo (Rodella; Alcarde, 1994).

Para os compostos obtidos a partir do uso CCS como cama de ovinos (leiras P1 e P2), observa-se que os valores de CO, N e relação C/N obtidos após 172 dias de compostagem, estão de acordo com os limites mínimos exigidos pela Instrução Normativa nº 61 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Instrução, 2020). Da mesma forma, os valores da CTC desses compostos também atendem à Instrução Normativa SDA nº 35 do MAPA (Instrução, 2006), sendo quatro vezes superior ao valor mínimo especificado.

Evolução das frações fibrosas durante a compostagem

De uma forma geral (exceto P4), a evolução temporal dos teores de FDN (Figura 2A) e FDA (Figura 2B) observadas nos compostos orgânicos formulados com CCS hidrolisadas ou não, utilizadas como cama de ovinos (P1 e P2) ou adicionada de sulfato de amônio (P3), bem como os resíduos hidrolisados ou não (P5 e P6) aos 172 dias de compostagem, apresentou ajuste linear.

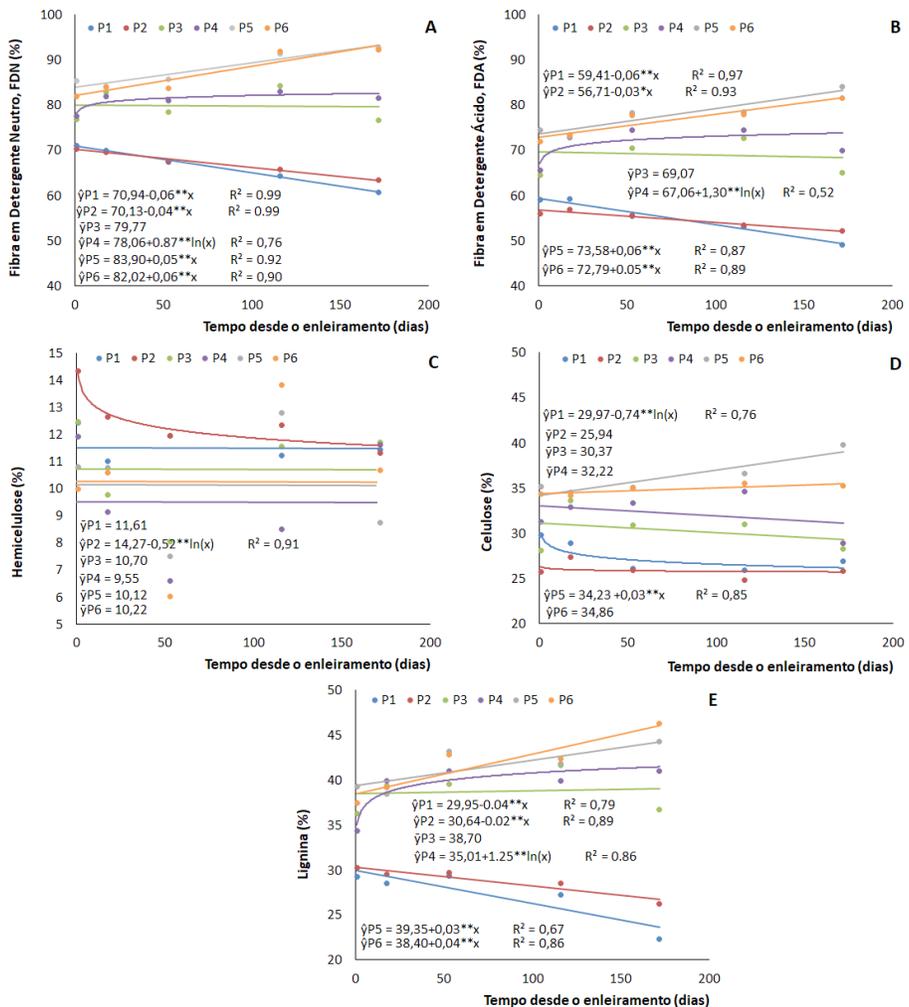


Figura 2. Teores de Fibra em Detergente Neutro (FDA), Fibra em Detergente Ácido (FDA), hemicelulose, celulose e lignina em compostos orgânicos formulados com cascas de coco seco (CCS) hidrolisadas ou não, utilizadas como cama de ovinos ou adicionadas de sulfato de amônio, em função de 172 dias de compostagem, Barra de Santo Antônio, AL, 2019.

Legenda: P1: Cama de ovinos com CCS hidrolisada; P2: Cama de ovinos com CCS não hidrolisada; P3: CCS hidrolisada + sulfato de amônio; P4: CCS não hidrolisada + sulfato de amônio; P5: CCS hidrolisada e, P6: CCS não hidrolisada; *, ** = significativos pelo teste F, respectivamente, a 5 e 1%.

A FDN está mais relacionada aos carboidratos estruturais (celulose, hemicelulose e pectinas) enquanto a FDA se refere à celulose, lignina, sílica e proteína, sendo utilizada para quantificar a hemicelulose (Figura 2C) por diferença da FDN (Alves et al., 2016). Em princípio, a distinção dos tratamentos é mais evidente, sobretudo pelo efeito do esterco ovino e do sulfato de amônio do que pelo efeito da hidrólise alcalina. Ressalta-se, no entanto, a maior eficiência do componente animal, constituído pela associação do pisoteio (fase de cama) e dejetos, os quais proporcionaram a redução da FDN e FDA ao longo do processamento do composto. A redução do teor de FDN nas leiras P1 e P2, desde os 31 dias da fase de cama de ovinos até o final da compostagem foi, respectivamente, em torno de 20% e 15%. A redução da FDA foi de 21 % e 14%, respectivamente, nas leiras P1 e P2. Ao final dos 172 dias de compostagem, em relação à CCS original (sem tratamento), P1 havia perdido 34% de FDN e 41% de FDA, e P2, 34% de FDN e 41% de FDA.

O tratamento P2 foi o único que apresentou redução significativa de hemicelulose. Considerando desde a fase de cama de ovinos, os teores de hemicelulose em P2 foram reduzidos em aproximadamente 18%, tendo sido mais intensa até os primeiros 50 dias do período de compostagem.

Durante a compostagem, os teores de celulose só foram significativamente reduzidos na leira P1 (10%) (Figura 2D). No entanto, se se considerar o decaimento ocorrido nos teores celulose de P1 e P2 desde a fase de cama de ovinos, ambos apresentaram redução significativa (cerca de 12 e 14%, respectivamente), indicando que, para P2, diferentemente de P1, toda a redução acontece durante a fase de pré-tratamento, como cama dos animais. Contrariamente, na leira P5, os teores de celulose aumentaram significativamente à medida que o processo evoluía.

Reduções significativas nos teores de lignina (Figura 2E) também só foram observados nas leiras P1 e P2, com os modelos lineares ajustados sugerindo a continuidade da redução dessa componente da fibra. Nas demais leiras, exceto por P3, o teor de lignina apresentou uma relação linear crescente com o tempo de compostagem.

A comparação dos teores de lignina encontrados ao final de todo o período de estudo mostrou diferenças significativas entre os tratamento que seguiram a sequência: P6 (46,25%) \approx P5 (44,25%)>P4 (40,99)>P3 (36,75%)>P2 (26,26%)>P1 (22,26), sugerindo que a associação dos pré-tratamentos cama

de ovinos e hidrólise alcalina se mostrou mais eficiente em reduzir os teores daquele constituinte da fibra. A redução dos teores de lignina no tratamento P1 em relação a P6 foi de quase 52%.

Conclusões

Há necessidade de ajustes quanto ao período de permanência da CCS no aprisco, o qual poderá ser reduzido.

Os compostos obtidos a partir do uso da CCS, hidrolisada ou não com cal hidratada, apresentaram, em 172 dias de compostagem, valores de C, N, C/N e CTC dentro dos limites fixados pela legislação vigente, sendo considerados adequados para uso agrícola.

Os dados obtidos sugerem que o uso da CCS como cama de ovinos associadas à hidrólise alcalina com cal hidratada é uma estratégia adequada para acelerar a degradação e a compostagem da CCS.

A associação dos pré-tratamentos constituídos pela hidrólise alcalina da CCS e seu uso como cama de ovinos foi mais eficiente que os demais tratamentos em reduzir os teores de lignina em 51,87%, em relação à CCS não tratada.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Associação dos Produtores de Coco do Estado de Alagoas (Prococo), nas pessoas dos Srs. Bruno Almeida Brandão e Alexandre Noia Lyra, pela parceria, disponibilização da área de estudo e pelo apoio à condução dos trabalhos de campo.

Referências

ALVES, A. R.; PASCOAL, L. A. F.; CAMBUÍ, G. B.; TRAJANO, J. da S.; SILVA, C. M. da; GOIS, G. C. Fibra para ruminantes: Aspecto nutricional, metodológico e funcional. **Pubvet**, v. 10, n. 07, p. 513-579, 2016.

- BARROS, A. H. C.; ARAÚJO FILHO, J. C. de; SILVA, A. B. da; SANTIAGO, G. A. C. F. **Climatologia do Estado de Alagoas**. Recife: Embrapa Solos, 2012. 32 p. (Embrapa Solos. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 211).
- BERNAL, M. P.; PAREDES, C.; SANCHEZ MONEDERO, M. A.; CEGARRA, J. Maturity and stability parameters of composts prepared with a wide range of organic wastes. **Bioresource Technology**, v. 63, p. 91–99, 1988.
- CARGNELUTTI FILHO, A.; STORCK, L. Estatísticas de avaliação da precisão experimental em ensaios de cultivares de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 42, n. 1, p. 17-24, 2007.
- CAVALCANTE, A. C. R.; NEIVA, J. N. M.; DANIELLI, L. A.; BOMFIM, M. A. D.; LEITE, E. R. Desempenho de cordeiros em área de coqueiral (*Cocos nucifera*) no Nordeste Brasileiro. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 41., 2004, Campo Grande. **A produção animal e segurança alimentar**: anais. Campo Grande: SBZ, 2004. p. 1-4.
- CORRADINE, E.; ROSA, M. F.; MACEDO, B. P.; PALADIN, P. D.; MATTOSO, L. H. C. Composição química, propriedades mecânicas e térmicas da fibra de frutos cultivares de coco verde. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 31, n. 3, sete. 2009.
- FAO. FAOSTAT. **Crops and livestock products**, 2021. Disponível em: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>.
- FERREIRA NETO, M.; GHEYI, H. R.; FERNANDES, P. D.; HOLANDA, J. S. de; BLANCO, F. F. Emissão foliar, relações iônicas e produção do coqueiro irrigado com água salina. **Ciência Rural**, v. 37, p. 1675-1681, 2007.
- FERREIRA, D. F. SISVAR: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.
- GUIMARÃES FILHO, C.; SOARES, J. G. G. Fruti-ovinocultura: limitações e possibilidades de consorciar ovinos com fruteiras. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE CAPRINOS E OVINOS DE CORTE, 2.; SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE AGRONEGÓCIO DA CAPRINOCULTURA LEITEIRA, 1., 2003, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: EMEPA-PB, 2003.
- GUNDUPALLI, M. P.; KAJIURA, H.; ISHIMIZU, T.; BHATTACHARYYA, D. Alkaline hydrolysis of coconut pith: process optimization, enzymatic saccharification, and nitrobenzene oxidation of Kraft lignin. **Biomass Conversion and Biorefinery**, v. 12, p. 2349–2367, 2022.

HAO, X.; CHANG, C.; LARNEY, F.J. Carbon, nitrogen balances and greenhouse gas emissions during cattle feedlot manure composting. **Journal of Environmental Quality**, v. 33, n. 1, p. 37-44, 2004.

IBGE. **Produção Agrícola Municipal**. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/1613>. Acesso em: 13 dez. 2022.

INSTRUÇÃO NORMATIVA MAPA, nº 61, de 8 de julho de 2020. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, n. 134, 15 jul. 2020. Seção 1, p.5. Disponível em: < <https://portal.in.gov.br/en/web/dou/-/instrucao-normativa-n-61-de-8-de-julho-de-2020-266802148>>. Acesso em: 09 jun. 2022.

INSTRUÇÃO NORMATIVA SDA, nº 35, de 4 de julho de 2006. **Diário Oficial da União**, n. 132, 12 jul. 2006. Seção 1. Disponível em: < <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/fertilizantes/legislacao/in-35-de-4-7-2006-corretivos.pdf/view>>. Acesso em: 09 jun. 2022.

KADIR, A. A.; AZHARI, N. W.; JAMALUDIN, S. N. Evaluation of physical, chemical and heavy metal concentration of food waste composting. **MATEC Web of Conferences**, v. 103, p. 1-9, 2017.

LAX, A.; ROIG, A.; COSTA, F. A method for determining the cation-exchange capacity of organic materials. **Plant and Soil**, v. 94, p. 349-355, 1986.

LIMA, C. C. **Caracterização química de resíduos da produção de biodiesel compostados com adição mineral**. 2006. 167 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Programa de Pós Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2006.

LUO, Y.; FAN, J.; BUDARIN, V. L.; HU, C.; CLARK, J. H.; MATHARU, A.; MELO, E. M. Toward a zero-waste biorefinery: confocal microscopy as a tool for the analysis of lignocellulosic biomass. **ACS Sustainable Chemistry & Engineering**, v. 6, n. 10, p. 13185–13191, 2018.

MACHADO, R. M. A.; SERRALHEIRO, R. P. Soil salinity: effect on vegetable crop growth. Management practices to prevent and mitigate soil salinization. **Horticulturae**, v. 3, n. 30, p. 2-13. 2017.

MARTINS, A. P.; RODRIGUES DA SILVA, P. L.; BORELLI, C.; MARCIANO, J. P. P; SANCHES, R. A. O problema do pós-consumo do coco no Brasil: alternativas e sustentabilidade. **Sustentabilidade em Debate**, v. 7, n. 2, p. 44-57, 2016.

MASCARENHAS, J. D. E. C.; BELTRÃO, B. A.; SOUZA JUNIOR, L. C. **Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea**. Diagnóstico do município de Barra de Santo Antônio, Estado de Alagoas. Recife: CPRM/PRODEEM, 2005. 12 p.

MODENBACH, A. A.; NOKES, S. E. Effects of sodium hydroxide pretreatment on structural components of biomass. **Transactions of the ASABE**, v. 57, n. 4, p. 1187-1198, 2014.

MOTA, D. A.; OLIVEIRA, M. D. S.; DOMINGUES, F. N.; MANZI, G.M.; FERREIRA, D.S.; SANTOS, J. Hidrólise da cana-de-açúcar com cal virgem ou cal hidratada. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 39, n. 6, p. 1186-1190, 2010.

NORRRAHIM, M. N. F.; ILYAS, R. A.; NURAZZI, N. M.; RANI, M. S. A.; ATIKAH, M. S. N.; SHAZLEEN, S. S. Chemical pretreatment of lignocellulosic biomass for the production of bioproducts: an overview. **Applied Science and Engineering Progress**, v. 14, n. 4, p.588-605, 2021.

NUNES, M. U. C. Compostagem laminar como estratégia de sustentabilidade para sistemas de produção de coco no Nordeste. In: SEMINÁRIO SOBRE MANEJO SUSTENTÁVEL PARA A CULTURA DO COQUEIRO, 2017, Aracaju. **Resultados de pesquisas e estudos de casos: anais**. Brasília, DF: Embrapa, 2017. 168 p.

RAJ, D.; ANTIL, R. Evaluation of maturity and stability parameters of composts prepared from agro-industrial wastes. **Bioresource Technology**, v. 102, p. 2868–2873, 2011.

RANGEL, J. D. A.; MUNIZ, E. N.; de SOUZA, S. F. Integração lavoura, pecuária, floresta: o coqueiro como parte do sistema. In: SEMINÁRIO SOBRE MANEJO SUSTENTÁVEL PARA A CULTURA DO COQUEIRO, 2017, Aracaju. **Resultados de pesquisas e estudos de casos: anais**. Brasília, DF: Embrapa, 2017. 168 p.

ROCHA, K. D. C.; FERREIRA, M. S.; GARCIA, C. E. R. Produção e produtos à base de coco (*Cocos nucifera* L.): uma revisão. **Brazilian Journal of Development**, v. 8, n. 5, p. 41476-41491, 2022.

RODELLA, A. A.; ALCARDE, J. C. Avaliação de materiais orgânicos empregados como fertilizantes. **Scientia Agricola**, v. 51, n. 3, p. 556-562, 1994.

ROIG, A., LAX, A., GEGARRA, J., COSTA, T., HARNANDEZ, M.T. Cation exchange capacity as a parameter for measuring the humification degree of manures. **Soil Science**, v. 146, p. 311–316, 1988.

ROSA, M. de F.; BEZERRA, F. C.; CORREIA, D.; SANTOS, F. J. de S.; ABREU, F. A. P. de; FURTADO, A. A. L.; BRÍGIDO, A. K. L.; NORÕES, E. R. de V. **Utilização da casca de coco**

como substrato agrícola. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2002. 24 p. (Embrapa Agroindústria Tropical. Documentos, 52).

SAID PULLICINO, D.; ERRIQUENS, F. G.; GIGLIOTI, G. Changes in the chemical characteristics of water-extractable organic matter during composting and their influence on compost stability and maturity. **Bioresource Technology**, v. 98, p. 1822–1831, 2007.

SALGADO, M. M. M.; BLU, R. O.; JANSSENS, M.; FINCHEIRA, P. Grape pomace compost as a source of organic matter: Evolution of quality parameters to evaluate maturity and stability. **Journal of Cleaner Production**, v. 216, p. 56-63, 2019.

SANCHEZ MONEDERO, M. A.; ROIG, A.; PAREDES, C.; BERNAL, M. P. Nitrogen transformation during organic waste composting by the Rutgers system and its effects on pH, EC and maturity of the composting mixtures. **Bioresource Technology**, v. 78, p. 301–308, 2001.

SCHOENEAU, J. Impacts of repeated manure additions on soil fertility. In: Proceedings of the Soils and Crops. **Saskatoon**: Saskatchewan Extension Press, p. 95–100, 2005.

SELLAMI, F.; HACHICHA, S.; CHTOUROU, M.; MEDHIOUB, K.; AMMAR, E. Maturity assessment of composted olive mill wastes using UV spectra and humification parameters. **Bioresource Technology**, v. 99, p. 6900–6907, 2008.

SENEVIRATNE, G.; JAYAKODY, K.; WEERASEKARA, M.; SOMEYA, T.; RYUDA, N. Microbial biofertilizer application versus compost use in agriculture: soil health implications. **Soil Microbes and Environmental Health**, v. 4, p. 81-117, 2011.

VAN SOEST, P. J.; WINE, R. H. Determination of lignin and cellulose in acid detergent fiber with permanganate. **Journal of Association of Official Agricultural Chemists**, v. 51, n. 4, p. 780-785, Jul. 1968.

WU, D. L.; LIU, P.; LUO, Y. Z.; TIAN, G. M.; MAHMOOD, Q. Nitrogen transformations during co-composting of herbal residues, spent mushrooms, and sludge. **Journal of Zhejiang University -Sci B (Biomed & Biotechnol)**, v. 11, n. 7, p. 497-505, 2010.

YEOMANS, J. C.; BREMNER, J. M. A rapid and precise method for routine determination of carbon in soil. **Communications In Soil Science and Plant Analysis**, v. 19, p. 14-67-1476, 1988.

ZHANG, M.; HEANEY, D.; HENRIQUEZ, B.; SOLBERG, E.; BITTNER, E. A four year study on influence of biosolids/MSW compost application in less productive soils in Alberta: nutrient dynamics. **Compost Science and Utilization**, v. 14, p. 68–80, 2006.



Tabuleiros Costeiros