

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ - UNIOESTE
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

CONTROLE ESTATÍSTICO DA QUALIDADE DO COMPOSTO ORGÂNICO
PROVENIENTE DE RESÍDUOS AGROINDUSTRIAIS

LEOCIR JOSÉ CARNEIRO

CASCADEL - PARANÁ - BRASIL
FEVEREIRO - 2016

LEOCIR JOSÉ CARNEIRO

**CONTROLE ESTATÍSTICO DA QUALIDADE DO COMPOSTO ORGÂNICO
PROVENIENTE DE RESÍDUOS AGROINDUSTRIAIS**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE, em cumprimento aos requisitos para obtenção do título de Doutor em Engenharia Agrícola, área de concentração **Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental**.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Mônica Sarolli Silva de Mendonça Costa

CASCADEL - PARANÁ - BRASIL

FEVEREIRO - 2016

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

C289c

Carreiro, Leocir José

Controle estatístico da qualidade do composto orgânico proveniente de resíduos agroindustriais./Leocir José Carreiro. Cascavel, 2016.
46 p.

OrientadorA: Prof. Dr^a. Mônica Sarolli Silva de Mendonça Costa
Revisão Inglês, Português e Normas: Ana Maria Martins Alves
Vasconcelos

Tese (Doutorado) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Campus de Cascavel, 2016
Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Engenharia Agrícola

1. Compostagem. 2. Gráficos de controle Shewhart. 3. Usina de compostagem. I. Costa, Mônica Sarolli Silva de Mendonça. II. Alves, Ana Maria Martins Alves Vasconcelos, Rev. III. Universidade Estadual do Oeste do Paraná. IV. Título.

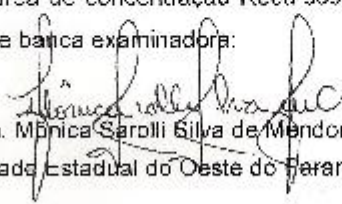
CDD 21.ed. 628
CIP-NBR 12899

Ficha catalográfica elaborada por Helena Soterio Beijo – CRB 9^o/965

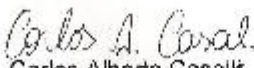
LEOCIR JOSÉ CARNEIRO

"CONTROLE ESTATÍSTICO DA QUALIDADE DO COMPOSTO ORGÂNICO PROVENIENTE DE RESÍDUOS AGROINDUSTRIAIS"

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação "Stricto Sensu" em Engenharia Agrícola em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de doutor em Engenharia Agrícola, área de concentração Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, **aprovada** pela seguinte banca examinadora:


Orientadora: Prof.^a Dra. Mônica Sarolli Silva de Mendonça Costa

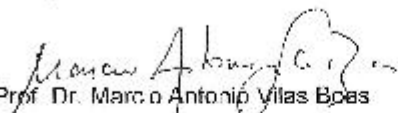
Universidade Estadual do Oeste do Paraná – *Campus de Cascavel*


Prof. Dr. Carlos Alberto Casali

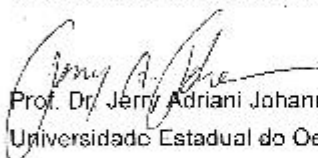
Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR/Dois Vizinhos


Prof. Dr. Luiz Antonio de Mendonça Costa

Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq/RHAE


Prof. Dr. Marco Antonio Vilas Boas

Universidade Estadual do Oeste do Paraná – *Campus de Cascavel*


Prof. Dr. Jerry Adriani Johann

Universidade Estadual do Oeste do Paraná – *Campus de Cascavel*

Cascavel, 12 de fevereiro de 2016.

BIOGRAFIA

Nascido em 27 de abril de 1987 no município de Santa Izabel do Oeste, Paraná, Brasil. Em 2005, ingressou no curso de Engenharia Agrícola na Universidade Estadual do Oeste do Paraná - UNIOESTE, onde depois de cinco anos obteve o título de Engenheiro Agrícola. No ano de 2010, ingressou no mestrado em Engenharia Agrícola, da mesma Universidade, na área de recursos Hídricos e Saneamento Ambiental e obteve o título de Mestre em Engenharia Agrícola. Em 2012, ingressou no doutorado em Engenharia Agrícola, na mesma universidade e área de concentração.

CONTROLE ESTATÍSTICO DA QUALIDADE DO COMPOSTO ORGÂNICO PROVENIENTE DE RESÍDUOS AGROINDUSTRIAIS

RESUMO

A qualidade de um composto orgânico é medida pela variabilidade de algumas variáveis citadas pelo Ministério de Agricultura Pecuária e Abastecimento (MAPA). Assim, esta pesquisa objetivou monitorar a qualidade na produção de composto orgânico na empresa Compostec por controle estatístico de qualidade (CEQ). A empresa está localizada na Rodovia PR 317, KM 06, Zona Rural do município de Toledo-PR. As amostras foram coletadas no período de 01/04/2014 a 01/04/2015. Coletaram-se cinco amostras por leira em um total de 21 leiras, totalizando 105 amostras. As variáveis analisadas foram: umidade, pH, condutividade elétrica (CE), carbono, nitrogênio, fósforo, potássio, relação carbono/nitrogênio, capacidade de troca catiônica (CTC), relação CTC/C, cádmio, chumbo, cobre e zinco. Construiu-se o gráfico de controle de Shewhart e calculou-se o índice de capacidade do processo para cada variável. A CEQ mostrou-se aplicável para empresas que produzem composto orgânico a partir da compostagem em leiras revolvidas. O processo não apresentou controle estatístico em nenhuma das variáveis analisadas e a empresa é capaz de produzir composto orgânico dentro das normas e/ou limites seguros em relação à (ao): umidade, pH, CE, P, K, CTC. O processo é aceitável em relação às variáveis C, N e à relação C/N, porém é incapaz em relação à CTC/C, Cu, Zn, Cd e Pb. As variáveis que melhor representam a qualidade do composto e são mais fáceis de monitorar com gráficos de controle são C, N e relação C/N.

PALAVRAS-CHAVE: compostagem, gráficos de controle Shewhart, usina de compostagem.

QUALITY CONTROL IN ORGANIC COMPOST PRODUCTION

ABSTRACT

The quality of an organic compound has been measured by the variability of some variables cited by the Ministry of Agriculture, Livestock and Supply (MAPA). Thus, this trial aimed at monitoring the quality on organic compost production at Compostec company based on statistical control quality (SCQ). The company is located on 317-PR Highway, KM 06, Rural Zone in Toledo city, Paraná. The samples were collected from 01/04/2014 to 04/01/2015. There were 21 piles and from each one of them five samples were collected, so there was a total of 105 samples. The analyzed variables were: moisture, pH, electrical conductivity (EC), carbon, nitrogen, phosphorus, potassium, carbon/nitrogen ratio, cation exchange capacity (CEC), CEC/C ratio, cadmium, lead, copper and zinc. The Shewhart control chart was calculated to obtain the process capability index for each variable. The SQC was shown to be applicable to companies that produce organic compost based on composting in plowed piles. The process did not show statistical control in any of the variables analyzed, but the company can produce organic compound based on the rules and/or safe limits in relation to: moisture, pH, EC, P, K, CEC. The production process is acceptable in relation to C, N and C/N ratio, but ineffective to CEC/C ratio, Cu, Zn, Cd and Pb. The variables that best represent the compound quality and can be easily monitored with control charts are C, N and C/N ratio.

Keywords: composting, Shewhart control graphics, composting plant.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	vi
LISTA DE TABELAS	vii
LISTA DE EQUAÇÕES	viii
1 INTRODUÇÃO	1
2 OBJETIVOS.....	3
2.1 Objetivo geral	3
2.2 Objetivos específicos	3
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
3.1 Resíduos sólidos agroindustriais	4
3.2 Compostagem.....	4
3.3 Usinas de compostagem	6
3.4 Qualidade do composto.....	7
3.5 Controle estatístico de qualidade (CEQ).....	7
4 MATERIAL E MÉTODOS.....	9
4.1 Localização e caracterização da área de estudo	9
4.2 Método de compostagem	10
4.3 Montagem das leiras.....	11
4.4 Manejo e monitoramento das leiras	12
4.5 Parâmetros e metodologias	13
4.6 Análise dos dados.....	14
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	16
5.1 Análise exploratória e testes de normalidade	16
5.2 Gráficos de controle.....	18
5.2.1 Umidade.....	18
5.2.2 pH e CE.....	19
5.2.3 Carbono	20
5.2.4 N, P e K.....	23
5.2.5 Relação C/N.....	25
5.2.6 CTC.....	27
5.2.7 Relação CTC/C.....	27
5.2.8 Metais.....	28

5.3	Capacidade do processo de produção de composto.....	29
5.3.1	Umidade.....	30
5.3.2	pH e CE.....	31
5.3.3	Carbono	31
5.3.4	N, P e K.....	32
5.3.5	Relação C/N.....	33
5.3.6	CTC.....	34
5.3.7	Relação CTC/C.....	34
5.3.8	Metais.....	35
6	CONCLUSÕES	36
7	INTERVENÇÕES SUGERIDAS PARA A EMPRESA	37
8	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	39
	ANEXOS.....	45
	A1 – Exemplo de planilha de monitoramento utilizada na empresa.....	46

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localização da área de estudo FONTE: Google Earth (acesso em agosto de 2013)	9
Figura 2. Sistema de leiras trapezoidais revolvidas.....	10
Figura 3. Pá carregadeira utilizada na montagem das leiras	11
Figura 4. Revolvedor autopropelino utilizado para revolvimento das leiras	12
Figura 5. Precipitação mensal acumulada durante o período	13
Figura 6. Gráfico X-S da umidade dos compostos produzidos na empresa.....	18
Figura 7. Gráfico X-S do pH dos compostos produzidos na empresa	19
Figura 8. Gráfico X-S da CE dos compostos produzidos na empresa.....	20
Figura 9. Gráfico X-S para carbono dos compostos produzidos na empresa	21
Figura 10. Teste T para médias das últimas seis leiras analisadas versus demais leiras em relação ao tempo de compostagem (A), pH (B), relação C/N (C) e relação CTC/C (E).....	22
Figura 11. Gráfico X-S da % de N dos compostos produzidos na empresa.....	23
Figura 12. Gráfico X-S da % de P ₂ O ₅ dos compostos produzidos na empresa.....	24
Figura 13. Gráfico X-S da % de K ₂ O dos compostos produzidos na empresa	25
Figura 14. Gráfico X-S da relação C/N dos compostos produzidos na empresa.....	26
Figura 15. Gráfico X-S da CTC dos compostos produzidos.....	27
Figura 16. Gráfico X-S da relação CTC/C dos compostos produzidos na empresa...	28
Figura 17. Gráfico X-S para Cu (A) e Zn (B) dos compostos produzidos	29
Figura 18. Gráfico X-S para Cd (A) e Pb (B) dos compostos produzidos	29

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Exemplo de composição de uma das leiras analisadas.....	11
Tabela 2. Parâmetros avaliados e metodologias utilizadas na caracterização dos resíduos e avaliação do composto final	14
Tabela 3. Classificação do processo segundo os valores de CPK	15
Tabela 4. Análise exploratória das variáveis estudadas.....	16
Tabela 5. Testes de normalidade das variáveis estudadas.....	17
Tabela 6. Transformações, limites de especificação e índices de capacidade das variáveis analisadas.....	30

LISTA DE EQUAÇÕES

CP eq. 1	15
CPs eq. 2	15
CPI eq. 3	15

1 INTRODUÇÃO

A demanda alimentar é crescente em todo o Planeta. Novas áreas para plantio, confinamentos de animais e indústrias de processamento de produtos agrícolas são instaladas periodicamente. O crescimento produtivo traz consigo aumento na geração de resíduos orgânicos.

Nos últimos anos, inúmeras agroindústrias foram instaladas no Brasil, devido às condições favoráveis de mão de obra, disponibilidade de área e água, tornando-o um grande produtor e exportador de grãos e carnes. No entanto, o País não estava preparado para receber e tratar a enormidade de resíduos gerados, o que resultou na poluição do solo, água e ar.

As condições supracitadas nos remetem à necessidade de tecnologias de estabilização e reaproveitamento dos resíduos agroindustriais, de forma que, o passivo ambiental e os custos na produção sejam minimizados. Nesse contexto, surge a compostagem, que é uma tecnologia adequada à disposição ambiental de resíduos sólidos e semissólidos (COSTA et al., 2005).

No processo de compostagem, a matéria orgânica é transformada por microrganismos aeróbios, cujo resultado é o composto orgânico, material estabilizado sem odor e com características físico-químicas, que possibilitam a utilização como fertilizante e corretivo de solo.

Motivados pela ideia de transformar lixo orgânico em fertilizante, empresários instalaram usinas de compostagem para recolhimento e estabilização de resíduos agroindustriais. No entanto, a falta de conhecimento técnico e científico resultou na produção de composto com baixa qualidade agronômica, inviabilizando algumas usinas de compostagem no País.

A qualidade de um composto orgânico é fruto dos materiais utilizados e do manejo adotado. Uma vez definidos os materiais utilizados, em função da relação carbono/nitrogênio, basta controlar a granulometria, umidade e aeração para que se obtenha o sucesso no processo de compostagem. Segundo Valente et al. (2009), apesar da vasta gama de trabalhos sobre compostagem, necessita-se de pesquisas aprofundadas para melhoria do processo para produzir compostos com maior qualidade quanto ao fornecimento de nutrientes às plantas.

Segundo Montgomery (2012), a maneira mais eficaz de medir a qualidade de um produto é medir a sua variabilidade. Para isso, devem-se levar em consideração as variáveis de interesse, listadas nas normas para comercialização de compostos orgânicos, tais como umidade, pH, teores de nutrientes e metais pesados.

Os gráficos de controle são registros temporais de variáveis e trazem informações a cerca da variabilidade do processo, observada em função dos limites superior e inferior. Desta forma, é possível saber se o composto produzido em determinada época do ano tem maior concentração de nutrientes, por exemplo, e averiguar as possíveis causas.

As normas para comercialização de compostos orgânicos trazem ainda limites inferiores e superiores de especificação. A partir desses limites, é possível calcular os índices de capacidade do processo, ou seja, saber se a usina de compostagem é realmente capaz de produzir dentro dos padrões exigidos pela legislação ou níveis seguros encontrados na literatura.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

O objetivo foi monitorar a qualidade na produção de composto orgânico proveniente de resíduos agroindustriais a partir do controle estatístico de qualidade.

2.2 Objetivos específicos

Avaliar a aplicabilidade do uso de gráficos de controle X-S no monitoramento do composto orgânico produzido com resíduos agroindustriais.

Monitorar a variação da qualidade durante um ano de produção de composto orgânico na empresa.

Saber se a empresa está produzindo dentro dos limites seguros ou exigidos pela norma, usando os índices de capacidade do processo.

Identificar variáveis viáveis e que representam a qualidade do produto.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Resíduos sólidos agroindustriais

O setor agroindustrial segue em plena expansão no Brasil, motivado pelo espaço territorial amplo, disponibilidade de água e de mão de obra. Embora, a intensificação do setor seja necessária, problemas de cunho ambiental são observados, como a grande geração de resíduos que, aliada à falta de tecnologia para tratamento, resulta na poluição do solo, da água e da atmosfera (CARNEIRO, 2012).

O setor agroindustrial gera enorme quantidade de resíduo sólido, em toda a sua cadeia produtiva, com a peculiaridade de ser, na sua grande maioria, biodegradável. São gerados de forma concentrada e apresentam em geral constituição constante e conhecida (BENITES, 2006). Pode-se citar como exemplos de resíduos sólidos agroindustriais comuns na região Oeste do Paraná: lodos das estações de tratamento de efluentes de agroindústrias, resíduos de abatedouros, restos de culturas e hortaliças, resíduos da limpeza de grãos em unidades de beneficiamento, resíduo de incubatório, poda de árvores, dentre outros.

As características físico-químicas dos resíduos supracitados permitem o reaproveitamento dos mesmos a partir do processo de compostagem (COSTA et al., 2009).

3.2 Compostagem

A compostagem é um processo biológico, aeróbio, controlado, por meio do qual se consegue a estabilização ou até a humificação do material orgânico obtendo-se, como produto final, o 'composto orgânico' (MAGALHÃES et al., 2006; BERNAL et al., 2009).

Durante o processo de decomposição, bactérias, fungos e outros microrganismos quebram a matéria orgânica estável, usam substâncias orgânicas e reduzem o volume do resíduo (BERNAL et al., 2009). É uma alternativa viável, de baixo custo e sanitariamente eficiente na eliminação de patógenos de resíduos sólidos, submetidos a este método (MEISSL; SMIDT, 2007; COSTA et al., 2009).

A literatura traz inúmeros trabalhos bem-sucedidos na compostagem de resíduos agroindustriais. Resíduo da desfibrilação de algodão e dejetos bovinos (COSTA et al., 2005),

dejetos de cabras (AMORIM et al., 2005), conteúdo ruminal de bovinos, resíduo de incubatório, resíduo de cereais, lodo de flotor e cinzas (SILVA, 2007), resíduos agroindustriais da linha verde, resíduos de cereais, resíduo de incubatório, cama de aviário e maravalha (FIORI et al., 2008), dejetos bovinos e palha de arroz (KADER et al., 2007; TANG et al., 2007; LI et al., 2008; AHN et al., 2011), bagaço de cana de açúcar e dejetos animais (BUSTAMANTE et al., 2008), resíduo de frigorífico, palha de trigo e serragem (COSTA et al., 2009), fração sólida do dejetos de suínos (ORRICO JUNIOR et al., 2009), cama de frango (OGUNWANDE; OSUNADE, 2011), resíduos agroindustriais variados e da limpeza de grãos (CARNEIRO et al., 2013).

O processo de compostagem exige manejo adequado para que o produto final apresente boa qualidade (CARNEIRO et al., 2013). As principais variáveis a serem monitoradas e controladas são a umidade, a aeração, a temperatura, a granulometria dos resíduos, a relação carbono/nitrogênio (C/N) inicial e a arquitetura da leira.

A umidade deve ser mantida em torno de 60%. Em pátio descoberto, a água da chuva infiltra na leira, causa lixiviação e reduz o valor agrônomico do composto (CEKMECELIOGLU et al., 2005; HAROUN et al., 2007; CARNEIRO et al., 2013). Leiras submetidas às maiores taxas de aeração ou aos turnos de revolvimentos frequentes apresentam maiores perdas de N e menores tempos de compostagem (BRITO et al., 2008; BERNAL et al., 2009; SHEN et al., 2011). O revolvimento da leira duas vezes por semana no primeiro mês de compostagem e uma vez por semana nos meses subsequentes é eficaz no controle da temperatura, na estabilização do material em tempo aceitável e na redução das perdas de nitrogênio (CARNEIRO et al., 2013).

A temperatura é controlada pelos revolvimentos e umedecimentos e indica atividade biológica e eficiência do processo (PAGANS et al., 2006; ORRICO JUNIOR et al., 2009). Temperaturas baixas podem indicar baixa umidade ou pH inadequado para os microrganismos. Todavia, as temperaturas elevadas causam a morte dos microrganismos patogênicos e destruição de sementes de plantas daninhas (NEKLYUDOV et al., 2006; KIEHL, 2010). No entanto, temperaturas extremamente elevadas aumentam as perdas de N por volatilização de amônia (BRITO et al., 2008). Segundo Fiori et al. (2008), a pilha de compostagem deve registrar temperaturas entre 40 °C e 60 °C, entre o segundo e o quarto dia, o que indica condições satisfatórias de equilíbrio no seu ecossistema.

Geralmente, a granulometria dos resíduos agroindustriais é adequada ao processo de compostagem (2,5 a 7,5 cm). No entanto, em caso de materiais maiores, como carcaças ou plantas inteiras, devem-se usar equipamentos de moagem ou corte para adequação do tamanho das partículas (KIEHL, 2010). Partículas finas favorecem o ataque biológico devido a maior área de exposição, no entanto, podem causar compactação excessiva da leira. Já partículas grandes aumentam o tempo de decomposição (SUSZEK et al., 2007; BERNAL et al., 2009).

A relação C/N inicial da leira deve fornecer carbono e nitrogênio suficientes, em quantidade e qualidade, para a alimentação e reprodução dos microrganismos. Segundo Kiehl (2010), a relação inicial deve ser de 30:1 e o composto final deve apresentar relação próxima a 10:1. Entretanto, Bernal et al. (2009) chamam atenção para a qualidade do carbono empregado na compostagem, pois a utilização de carbono de difícil degradação dificulta a ação dos microrganismos, o que reduz a eficiência do processo de compostagem.

A pilha de compostagem deve ser montada de forma que ocorra o efeito conhecido como 'chaminé'. Este efeito permite entrada de ar pelas paredes laterais. O ar passa através da leira, sai pela parte superior e leva consigo vapor d'água, calor, CO₂ e outros gases. Em pátios de compostagem, o formato utilizado é geralmente trapezoidal devido à facilidade operacional e ao aproveitamento de espaço. No entanto, a altura não deve ser demasiadamente elevada, pois pode ocasionar compactação da leira e dificultar a aeração. Alturas de até dois metros são aceitáveis, porém, as máquinas utilizadas devem ser adequadas para a mesma (KIEHL, 2010).

3.3 Usinas de compostagem

Com o aumento na geração de resíduos e exigência de destinação correta conforme Resolução 358 do CONAMA (BRASIL, 2005) e por se tratar de uma tecnologia de baixo custo, as indústrias/agroindústrias e empresas de tratamento de esgotos começaram a montar pátios de compostagem ou usinas de compostagem (FRICKE et al., 2005; COSTA et al., 2009). No entanto, as agroindústrias produzem grandes quantidades de resíduo, por isso necessitam de espaço e mão de obra especializada para realizar o tratamento (BENITES, 2006).

As indústrias têm como preocupação a retirada do resíduo das proximidades do seu estabelecimento para evitar problemas com a vigilância sanitária, por isso desviam o foco para a retirada de resíduo e não para o tratamento ou processo de compostagem. Então, surgiu um novo ramo empresarial, a destinação e o tratamento de resíduos sólidos agroindustriais. Empresas foram criadas para recolher tais resíduos e receberem valores monetários em função das quantidades e características do resíduo. De posse dos resíduos, análises químicas são realizadas e as leiras são montadas, geralmente em pátio descoberto. Após a maturação do composto, o mesmo é comercializado, principalmente para agricultores. Contudo, a falta de mão de obra técnica qualificada para realização do processo de tratamento contribui para obtenção de composto sem qualidade necessária para ser utilizado como fertilizante (IACONO, 2007).

3.4 Qualidade do composto

O composto orgânico produzido de maneira correta é um material bioestabilizado, homogêneo, de odor não agressivo, coloração escura, rico em matéria orgânica humificada e isento de microrganismos patogênicos. Tem capacidade de liberação lenta de macro e micronutrientes, excelente estruturador do solo, além de favorecer o rápido enraizamento das plantas e aumento da capacidade de infiltração de água, por conseguinte há redução de erosão (LIANG et al., 2006; KIEHL, 2010). Quando utilizado antes da sua maturação, o composto pode causar: odores indesejáveis, danos às raízes da planta pelo efeito da amônia; consumo de nitrogênio do solo para oxidação da matéria orgânica presente no composto; produção de toxinas inibidoras do metabolismo das plantas e germinação de sementes; possibilidade de contaminação por patógenos (SILVA et al., 2002).

A qualidade do composto é definida em função de suas características físicas e químicas. As características físicas mais importantes são textura, aparência e tamanho de partícula. As características químicas são matéria orgânica humificada, pH, metais, nutrientes e sais solúveis (GRAVES et al., 2000; MATOS, 2006). O composto ainda não deve apresentar fitotoxicidade às plantas (CARNEIRO, 2012).

Barreira et al. (2006) estudaram quinze (15) compostos produzidos nas usinas de compostagem de lixo doméstico do Estado de São Paulo e constataram que apenas dois desses compostos apresentaram índices adequados de matéria orgânica e nitrogênio, maiores que 40% e 1%, respectivamente. Os compostos apresentaram ainda concentrações de metais pesados acima do permitido na legislação vigente na época.

Nesse sentido, conforme Rodrigues (2004), programas de monitoramento devem ser implantados, a fim de garantir a qualidade do produto, a saúde dos consumidores e do meio ambiente. Para Barreira et al. (2006), a qualidade do composto produzido no Brasil só será possível com o controle de qualidade na produção e comercialização.

3.5 Controle estatístico de qualidade (CEQ)

O CEQ é um conjunto de técnicas estatísticas que auxilia na tomada de decisão para melhoria do processo (VILAS BOAS, 2005; MONTGOMERY, 2012). As principais ferramentas utilizadas são os gráficos de controle, os quais medem a variabilidade de um produto ou processo ao longo do tempo e os índices de capacidade do processo, que relacionam a variabilidade produzida com a variabilidade admitida nas especificações ou normas.

Os gráficos de controle são construídos com dados de variáveis, de representatividade direta ou indireta, da qualidade de um produto ou processo e visam identificar variações anormais em torno das medidas de centralização (média ou mediana) e medidas de dispersão (desvio padrão ou amplitude).

Os registros são realizados de tempos em tempos e formam uma série de dados que, posteriormente, são analisados e comparados aos limites aceitáveis das variáveis em questão (MICHEL; FOGLIATTO, 2002). Segundo Chen; Cheng (2009), as causas da variabilidade são facilmente observadas, já que os pontos fora de controle ficam destacados nos gráficos. Quando os valores observados estão distribuídos dentro dos limites, sem a presença de tendências ou ciclos, diz-se que o processo está sob controle estatístico.

Os gráficos de controle são apresentados em pares, sendo um para representar a centralização (média ou mediana) e outro a dispersão (desvio padrão ou amplitude). Os gráficos de média e desvio padrão (X-S) são os mais utilizados e mais confiáveis por necessitarem de repetições (MONTGOMERY, 2012).

O primeiro registro de gráficos de controle foi em 1924, quando Walter A. Shewhart desenvolveu o conceito estatístico e apresentou gráficos nos relatórios da empresa *Bell Telephone Laboratories*, por isso o gráfico X-S é chamado de gráficos de Shewhart. A partir daquela data, empresas de todos os lugares têm utilizado a ferramenta no monitoramento da qualidade de seus processos e produtos (LEIRAS et al., 2007; MONTGOMERY, 2012).

No entanto, são poucos os trabalhos encontrados em processos biológicos e com grande dependência de fatores climáticos. Chaves et al. (2004) usaram o controle da qualidade do leite em uma cooperativa; Cima; Opazo (2009) usaram o registro de gráficos de controle no monitoramento de riscos e pontos críticos de controle em uma agroindústria de aves; Mees et al. (2011) usaram no monitoramento das remoções de nitrogênio e matéria orgânica em biodigestores de batelada sequencial. Alcântara (2012) usou CEQ no monitoramento de biodigestores tubulares em laboratório e Orssatto et al. (2015) o utilizaram quando monitoraram pH, série de sólidos, DBO e DQO em uma estação de tratamento de esgoto a partir de gráficos de controle.

No controle da uniformidade de irrigação, alguns trabalhos são encontrados, Justi et al. (2010) e Frigo et al. (2013) mediram a capacidade do processo de irrigação por aspersão convencional; Tessaro (2012) usou o registro de gráficos de controle em ensaios de irrigação e fertirrigação por gotejamento em laboratório e Hernández (2010) e Hermes et al. (2013) o usou na irrigação e fertirrigação de feijão e mandioca.

Na compostagem não foram encontrados estudos utilizando gráficos de controle e índices de capacidade, apenas uso de limites no acompanhamento temporal do processo, visando saber o tempo de compostagem que atende ao maior número possível de exigências das normas locais (TÁTANO et al., 2015).

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Localização e caracterização da área de estudo

O trabalho foi realizado na COMPOSTEC, Rodovia PR 317, KM 06, Zona Rural do município de Toledo-PR. A empresa é especializada em coleta, transporte, tratamento e na destinação final de resíduos orgânicos agroindustriais e urbanos, classe II, segundo a norma ABNT NBR 10004:2004, utilizando o processo de compostagem aeróbia e biotecnologia, de acordo com as normas ambientais. Ocupa uma área de 30 hectares e atualmente tem capacidade para tratamento de 5.000 toneladas de resíduos orgânicos ao mês, além de empregar atualmente 65 funcionários (COMPOSTEC, 2016).

A Figura 1 mostra a localização e a distribuição física da empresa. Observa-se a presença de balança para pesagem dos resíduos que chegam à usina, ao pátio de compostagem descoberto e às lagoas para recolhimento de chorume.



Figura 1. Localização da área de estudo
FONTE: Google Earth (acesso em agosto de 2013)

4.2 Método de compostagem

A empresa utiliza o sistema de leiras revolvidas (windrow) em formato trapezoidal. Os resíduos são classificados ao chegarem à empresa e aqueles que necessitam são triturados e depois misturados de acordo com a relação de carbono e nitrogênio. Esta mistura é disposta em leiras de 3,0 metros de base por 1,5 metros de altura (Figura 2).



Figura 2. Sistema de leiras trapezoidais revolvidas

O controle da compostagem ocorre principalmente pelo monitoramento da temperatura nas leiras. Quando a temperatura das leiras alcança cerca de 60 °C, a leira é aerada por revolvimentos. Quando o composto permanece na temperatura ambiente, ou seja, não esquenta mais, ele é considerado bioestabilizado e pronto para ser utilizado pelas plantas. Devido ao aquecimento, as bactérias patogênicas morrem e não há o risco de contaminação dos solos (COSTA et al., 2009).

4.3 Montagem das leiras

Os resíduos chegam de caminhão na empresa e são pesados na balança. Posteriormente, seguem para o barracão de mistura, onde outros resíduos são adicionados para equilibrar a relação C/N. Então a mistura é carregada em caminhão basculante e segue para o pátio onde as leiras são montadas com pá carregadeira (Figura 3).



Figura 3. Pá carregadeira utilizada na montagem das leiras

A empresa recebe inúmeros resíduos de várias indústrias e agroindústrias da região, portanto, a composição das leiras não é igual. Durante o período observado as leiras variaram de 212,5 a 342 toneladas. Como exemplo, a composição de uma das leiras analisadas neste trabalho (Tabela 1).

Tabela 1. Exemplo de composição de uma das leiras analisadas

Resíduos	Quant. matéria natural (t)	Quant. (%)
Galho triturado	14,80	6,08
Cinza	5,40	2,22
Ração	4,70	1,93
Lodo	8,30	3,41
Cama de aviário	5,50	2,26
Resíduo do decantador	6,10	2,51
Resíduo de incubatório	18,70	7,68
Resíduo de restaurante	12,40	5,09
Lodo de flotador	127,50	52,36
Resíduo de madeira	23,20	9,53
Produto impróprio para consumo	1,50	0,62
Resíduo da desfibrilação de algodão	6,30	2,59
Conteúdo ruminal	3,70	1,52
Gesso	5,40	2,22
Total	243,50	100

4.4 Manejo e monitoramento das leiras

As principais operações de manejo da leira são os revolvimentos e umedecimentos. Após a montagem, a leira é mantida sem revolvimento nem umedecimento para que o processo de decomposição comece. Só após o aquecimento da mesma, os revolvimentos iniciam e são realizados, a priori, semanalmente. No entanto, em períodos chuvosos, o revolvedor não consegue operar, pois os pneus não aderem ao chão batido do pátio de compostagem, além do material ficar muito denso.

Os revolvimentos são realizados com máquina auto-propelida, desenvolvida pela própria empresa (Figura 4). Esta máquina possibilita o umedecimento simultâneo, com uma entrada de água na parte superior dos revolvedores. Para tal, faz-se necessária a utilização de um caminhão-tanque com moto-bomba para acompanhar a máquina.



Figura 4. Revolvedor autopropelino utilizado para revolvimento das leiras

A temperatura das leiras foi monitorada semanalmente para saber em que fase o processo se encontrava, se precisava revolvimento ou se o material estava estabilizado, com temperatura próxima à temperatura ambiente.

A umidade era determinada para identificar a necessidade que a leira fosse umedecida ao longo do processo de estabilização. O método para determinação da umidade *in loco* foi adaptado de Tavares et al. (2008), os quais utilizam forno microondas para secagem do material, posteriormente pesado em balança digital.

A precipitação mensal acumulada durante o período em que as leiras analisadas permaneceram no pátio foi obtida pelo Sistema de Monitoramento Agrometeorológico AGRITEMPO e está apresentada na Figura 5.

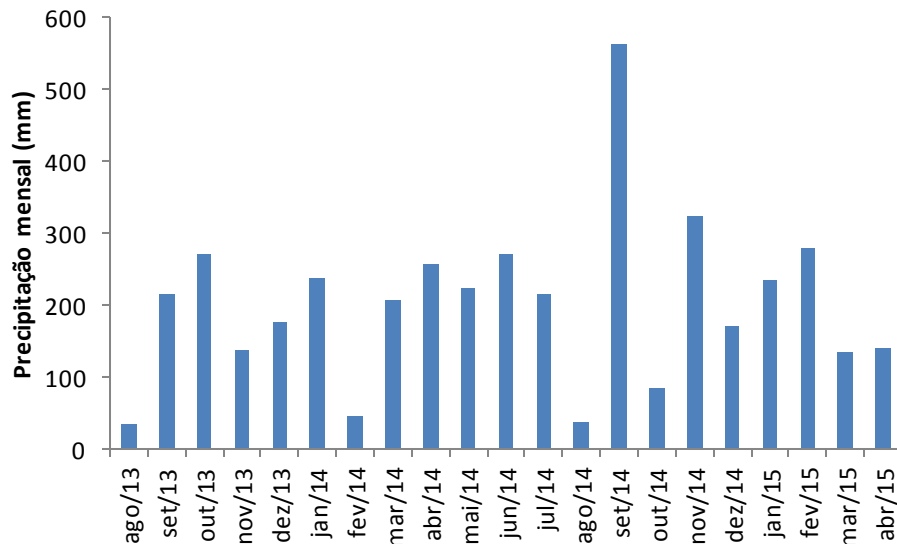


Figura 5. Precipitação mensal acumulada durante o período

4.5 Parâmetros e metodologias

A primeira leira analisada foi montada no dia 30/08/2013 e foi considerada como estabilizada em 01/04/2014. As datas de montagem e estabilização (final do processo) da última leira foram 13/12/2014 e 01/04/2015, respectivamente.

As leiras foram consideradas estabilizadas quando a temperatura da mesma se manteve próxima à temperatura ambiente. Posteriormente, as leiras permaneceram no pátio para secagem com exposição ao sol e revolvimentos, pois a alta umidade impede o peneiramento das mesmas. Após o peneiramento, cinco amostras por leira foram retiradas, identificadas e enviadas ao Laboratório de Análises de Resíduos Agroindustriais (LARA), pertencente à Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE). No total, vinte e uma (21) leiras foram analisadas, resultando em 105 amostras.

No LARA, as amostras foram secas em estufa com circulação forçada de ar e trituradas em moinho com peneira de 2 mm para as análises de N, P, K e metais. Na análise de nitrogênio, as amostras foram secas ao máximo de 60 °C para evitar volatilização,

enquanto as demais foram secas a 105 °C. As análises e metodologias utilizadas estão descritas na Tabela 2.

Tabela 2. Parâmetros avaliados e metodologias utilizadas na caracterização dos resíduos e avaliação do composto final

Parâmetros avaliados	Metodologia de referência
Umidade	APHA (2005)
pH	Tedesco et al. (1995)
Condutividade elétrica (CE)	Tedesco et al. (1995)
Carbono total (C)	Ignição em mufla
Nitrogênio total (N)	Malavolta et al. (1989)
Fósforo total (P)	EMBRAPA (2009)
Potássio (K)	EMBRAPA (2009)
Capacidade de troca catiônica (CTC)	EMBRAPA (2009)
Metais: Cadmio (Cd), Chumbo (Pb), Cobre (Cu) e Zinco (Zn)	EMBRAPA (2009)

As relações C/N e CTC/C foram calculadas, pois são parâmetros de estabilização exigidos pelo Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (MAPA) na normativa nº 23 de 31 de agosto de 2005.

4.6 Análise dos dados

Primeiro, realizou-se uma análise exploratória dos dados e testes de normalidade, no Excel e Minitab 16, respectivamente. Posteriormente, construíram-se os gráficos de controle de Shewhart, os quais utilizam médias e desvios padrão como medidas de centralização e dispersão dos dados, respectivamente. Os gráficos são construídos com limites de controle, três desvios abaixo da média, limite inferior de controle (LIC) e três desvios acima da média, limite superior de controle (LSC). O processo de compostagem para cada parâmetro foi considerado fora de controle quando algum ponto apareceu fora dos limites calculados ou quando observada uma série de oito pontos consecutivos sem cruzar a linha central (MONTGOMERY, 2012).

A produção de composto está subordinada às especificações dos órgãos ambientais, que darão aval para a certificação do produto para utilização na agricultura. Foi possível calcular os índices de capacidade do processo (CP_s) com os valores das especificações que indicam o quanto o processo é capaz de produzir dentro das especificações ou limites das normas regulamentadoras. A construção dos gráficos de controle foi feita com os dados originais, no entanto, a capacidade do processo foi calculada após transformação Box-Cox

ou Johnson no Minitab 16 quando não se constatou normalidade. Segundo Harsteln et al. (2010), a falta de normalidade afeta significativamente os índices de capacidade do processo.

O índice de capacidade foi calculado pela fórmula:

$$CP = \frac{LSE - LIE}{6\sigma} \quad \text{eq. 1}$$

Em que:

LSE é o limite superior de especificação;

LIE é o limite inferior de especificação;

σ é o desvio padrão amostral.

No entanto, na prática, σ é desconhecido e deve ser substituído por uma estimativa.

Neste trabalho, utilizou-se o desvio padrão amostral (S).

Muitas vezes, na área ambiental, apenas um limite é de interesse, seja ele superior ou inferior. Por exemplo, o limite máximo admitido de contaminante em certa amostra de água é 400 mg/L. Logo, este é o LSE e o LIE não existe, pois não faz sentido limitá-lo. Nestes casos, o CP é calculado como segue:

$$CP_s = \frac{LSE - X}{3\sigma} \quad \text{(em caso de apenas especificação superior)} \quad \text{eq. 2}$$

$$CP_i = \frac{X - LIE}{3\sigma} \quad \text{(em caso de apenas especificação inferior)} \quad \text{eq. 3}$$

Em que:

X é a média amostral.

O índice de capacidade geral do processo (CP_k) é sempre o menor dos calculados. A Tabela 3 mostra a interpretação do índice de capacidade do processo que se deu segundo Montgomery (2012). Para explicar a causa da variação no processo utilizou-se a correlação de Pearson e o teste de médias T, feitos no Minitab 16 e no Excel, respectivamente.

Tabela 3. Classificação do processo segundo os valores de CPK

CP_k	Classificação do processo
$CP_k \geq 1,33$	Capaz
$1 \leq CP_k < 1,33$	Aceitável
$CP_k < 1$	Incapaz

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Análise exploratória e testes de normalidade

A Tabela 4 mostra uma série de estatísticas descritivas das variáveis estudadas nas 105 amostras. Observa-se que a mediana esteve próxima à média, exceto para Cd e Pb onde foi zero, ou seja, metade ou mais dos dados foram iguais a zero. Valores baixos de Cd e Pb são bons resultados em uma análise de composto orgânico, pois os mesmos são tóxicos às plantas e aos animais.

Tabela 4. Análise exploratória das variáveis estudadas

Variáveis	Média	Mediana	S	CV (%)	Curtose	Assimetria	Mín.	Máx.	N
Umidade	34,48	35,04	1,77	5,14	-0,27	-0,52	28,75	37,32	105
C	17,67	17,33	1,38	7,79	-1,10	0,36	14,95	20,92	105
pH	8,40	8,54	0,38	4,51	-0,90	-0,48	7,70	9,21	105
CE	2,97	2,70	0,67	22,65	0,26	1,08	2,18	5,04	105
N	1,28	1,26	0,14	10,98	-0,64	0,30	1,02	1,64	105
P ₂ O ₅	27,42	28,39	4,36	15,91	-0,81	-0,32	18,16	37,93	105
K ₂ O	5,77	5,93	0,62	10,76	-0,24	-0,49	4,09	7,24	105
C/N	13,90	13,83	1,23	8,88	0,22	0,41	11,44	17,47	105
CTC	371,15	350,17	62,74	16,91	-0,83	0,65	278,87	499,04	105
CTC/C	21,01	20,42	3,17	15,10	0,84	1,02	15,12	30,71	105
Cu	381,31	375,18	116,43	30,54	-0,20	0,07	151,40	680,25	105
Zn	742,44	709,68	147,69	19,89	1,17	1,02	482,35	1231,31	105
Cd	0,49	0,00	0,96	195,47	2,45	1,90	0,00	3,53	105
Pb	10,95	0,00	24,03	219,42	4,46	2,27	0,00	109,03	105

S: desvio padrão amostral; CV: coeficiente de variação; N: tamanho amostral

A variação dos dados em relação à média foi baixa ou moderada, exceto para o cádmio e o chumbo (Cd e Pb), pois como a maioria dos dados foram zero, a média ficou baixa e os picos de concentração que chegaram ao máximo de 3,53 e 109,03 mg.kg⁻¹, respectivamente, foram suficientes para causar grande variação, inclusive com a presença de *outliers*.

A curtose é o grau de achatamento de uma distribuição em relação à curva normal e pode ser classificada em: leptocúrtica, mesocúrtica e platicúrtica, todavia, objetiva-se a mesocúrtica, pois ela se apresenta como a curva normalmente distribuída. Segundo Jones

(1969), um intervalo de curtose entre -0,70 e +1,10 considera-se mesocúrtica, ao nível de 5% de significância e N=100. Logo, as variáveis umidade, CE, N, K₂O, C/N, CTC/C e Cu foram classificadas como tal distribuição.

A assimétrica procura caracterizar o quanto a distribuição se afasta da condição simétrica, quando a média é igual à mediana e à moda, e pode ser: assimétrica à esquerda (negativa) e assimétrica à direita (positiva). O mesmo autor considera distribuição simétrica um intervalo de assimetria de -0,49 até +0,49, a 5% de significância com N=100. Portanto, as variáveis: C, pH, N, P₂O₅, C/N e Cu são consideradas simétricas. Quando os dados possuem distribuição mesocúrtica e simétrica, diz-se que os mesmos possuem normalidade ao nível de significância adotado, logo, N, C/N e Cu possuem distribuição normal a 5% de significância.

O teste sugerido por Jones (1969) teve resultado idêntico aos testes de normalidade de Anderson-Darling e Ryan-Joiner (similar a Shapiro-Wilk) realizados no Minitab 16. O teste de Kolmogorov-Smirnov adicionou a variável CTC com distribuição normal (Tabela 5).

Tabela 5. Testes de normalidade das variáveis estudadas

Var.	AD	p-valor	RJ	p-valor	KS	p-valor
Umidade	2,86	<0,005	0,966	<0,01	0,158	<0,01
C	3,27	<0,005	0,965	<0,01	0,173	<0,01
pH	6,14	<0,005	0,939	<0,01	0,22	<0,01
CE	6,39	<0,005	0,927	<0,01	0,26	<0,01
N	0,78	0,041	0,991	>0,10	0,109	<0,01
P ₂ O ₅	2,15	<0,005	0,977	<0,01	0,119	<0,01
K ₂ O	2,52	<0,005	0,975	<0,01	0,149	<0,01
CN	0,35	0,463	0,993	>0,10	0,061	>0,15
CTC	4,21	<0,005	0,953	<0,01	0,185	>0,10
CTC/C	2,96	<0,005	0,959	<0,01	0,186	<0,01
Cu	0,57	0,135	0,992	>0,10	0,08	0,098
Zn	2,29	<0,005	0,965	<0,01	0,122	<0,01
Cd	20,47	<0,005	0,971	<0,01	0,429	<0,01
Pb	23,29	<0,005	0,919	<0,01	0,416	<0,01

AD: Anderson-Darling; RJ: Ryan-Joiner; KS: Kolmogorov-Smirnov

5.2 Gráficos de controle

5.2.1 Umidade

O processo de produção de composto não apresentou controle estatístico em relação à umidade final das leiras expedidas, pois foram observados vários pontos abaixo e acima dos limites inferior (33,07%) e superior (35,89%), respectivamente. O gráfico dos desvios também não apresentou controle. Observam-se dois pontos acima do limite superior e uma sequência de nove pontos abaixo da linha central (Figura 6).

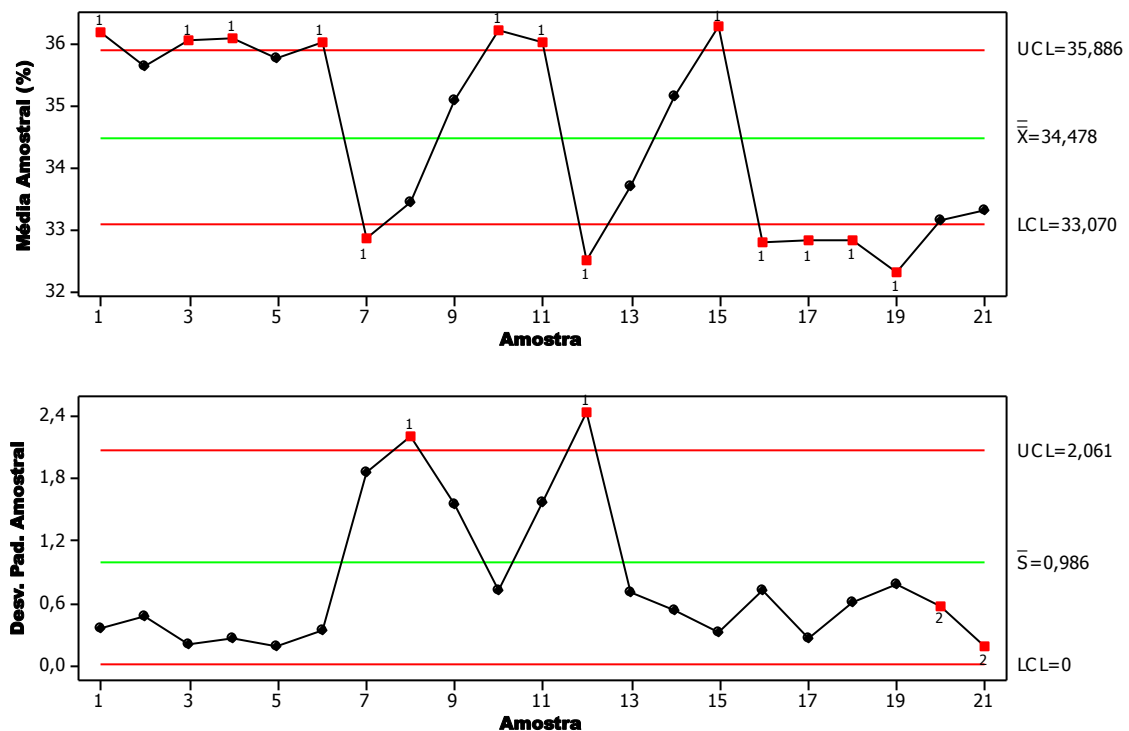


Figura 6. Gráfico X-S da umidade dos compostos produzidos na empresa

A umidade representa a quantidade percentual de água em relação à massa total de amostra, logo, quanto maior a umidade, menor a quantidade de massa seca consequentemente, nutrientes em valores absolutos. Um composto com umidade elevada não deve ser aceito pelo consumidor, pois o mesmo estaria comprando água ao invés de nutrientes para as culturas.

O valor máximo permitido pelo MAPA é de 50% (BRASIL, 2005) e observa-se que nenhuma das leiras analisadas superou este valor. A umidade é uma variável que pode ser mais bem controlada na empresa para chegar a um valor padrão de expedição do produto.

A construção de um barracão para cura, secagem e armazenagem do composto facilitaria esse controle, quem sabe assim os gráficos de controle de umidade estivessem sob controle.

5.2.2 pH e CE

Não houve controle estatístico para pH, pois, na Figura 7, observam-se vários pontos fora dos limites que compreendem de 8,31 até 8,50. Os limites calculados foram extremamente rígidos, pois a variação dentro de uma mesma leira é extremamente baixa, conforme é possível observar no gráfico dos desvios, quando comparada à variação de uma leira para a outra, gráfico das médias.

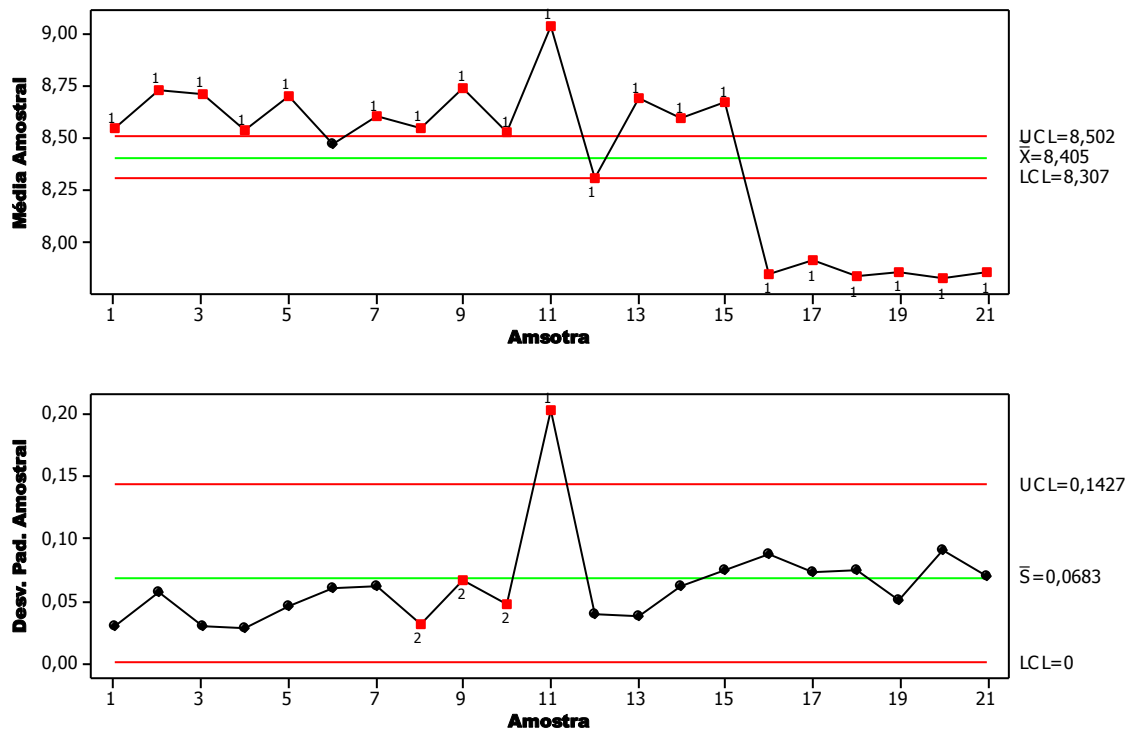


Figura 7. Gráfico X-S do pH dos compostos produzidos na empresa

As últimas seis leiras apresentaram menor pH, fato que pode ser explicado pela retirada prematura das leiras do pátio de compostagem, antes da estabilização, pois o pH é um indicativo de estabilidade do composto (COSTA et al., 2009).

A CE apresentou comportamento semelhante ao pH, falta de controle estatístico, pois apresentou vários pontos fora dos limites calculados, 2,66 até 3,28 mS.cm^{-1} , e variação excessiva entre as leiras, quando comparada à variação dentro da mesma leira (Figura 8).

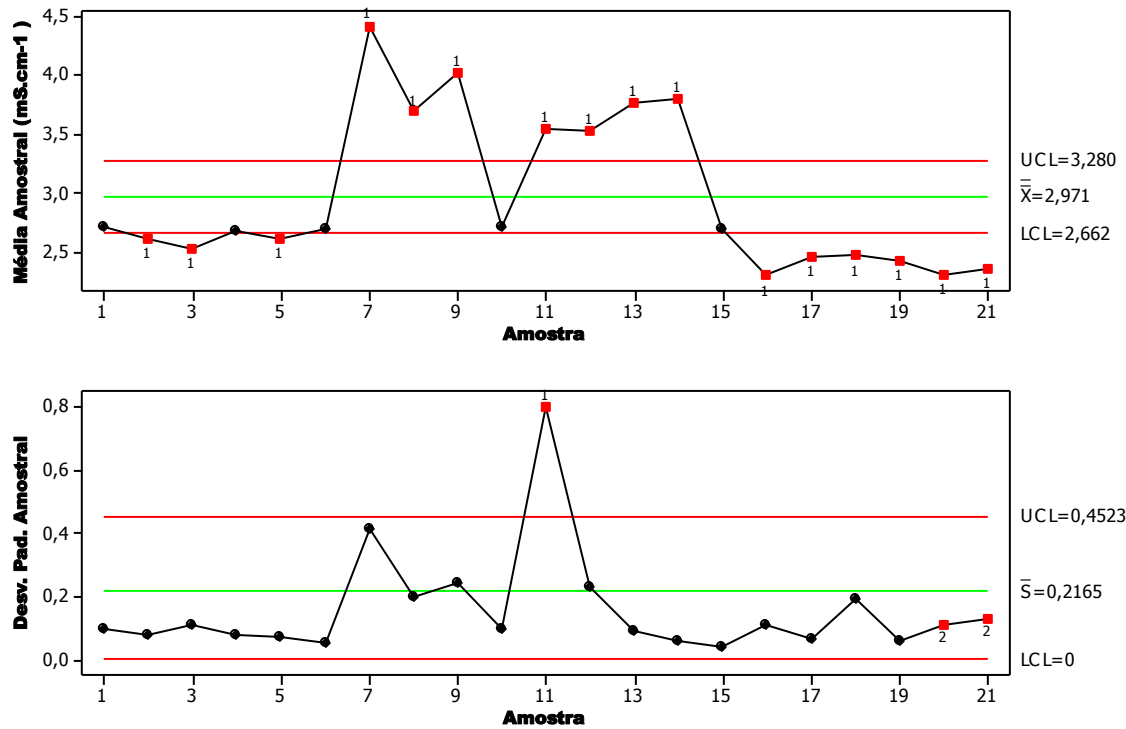


Figura 8. Gráfico X-S da CE dos compostos produzidos na empresa

Os menores valores de pH e CE nas últimas seis leiras podem indicar que elas não permaneceram tempo suficiente para estabilização no pátio de compostagem, pois o composto estabilizado apresenta pH alto (BREWER;SULLIVAN, 2003; VALENTE et al., 2009) e o aumento na CE é esperado devido à grande perda de massa no processo e consequente aumento na concentração de minerais e metais (CARNEIRO et al., 2013).

As duas variáveis não são bons parâmetros para uso de gráficos de controle X-S, pois a variação dentro de uma mesma leira é extremamente baixa quando comparada à variação entre os indivíduos, reduzindo o nível de tolerância (distância entre limite superior e inferior).

5.2.3 Carbono

O processo de produção de composto orgânico pela empresa não apresentou controle estatístico em relação à concentração de carbono, pois se observam sete pontos acima do limite superior (18,75%) e cinco pontos abaixo do limite inferior (16,58%). Observou-se ainda um ponto fora do limite superior para o gráfico dos desvios, o qual indica variação excessiva dentro da 12ª leira analisada (Figura 9).

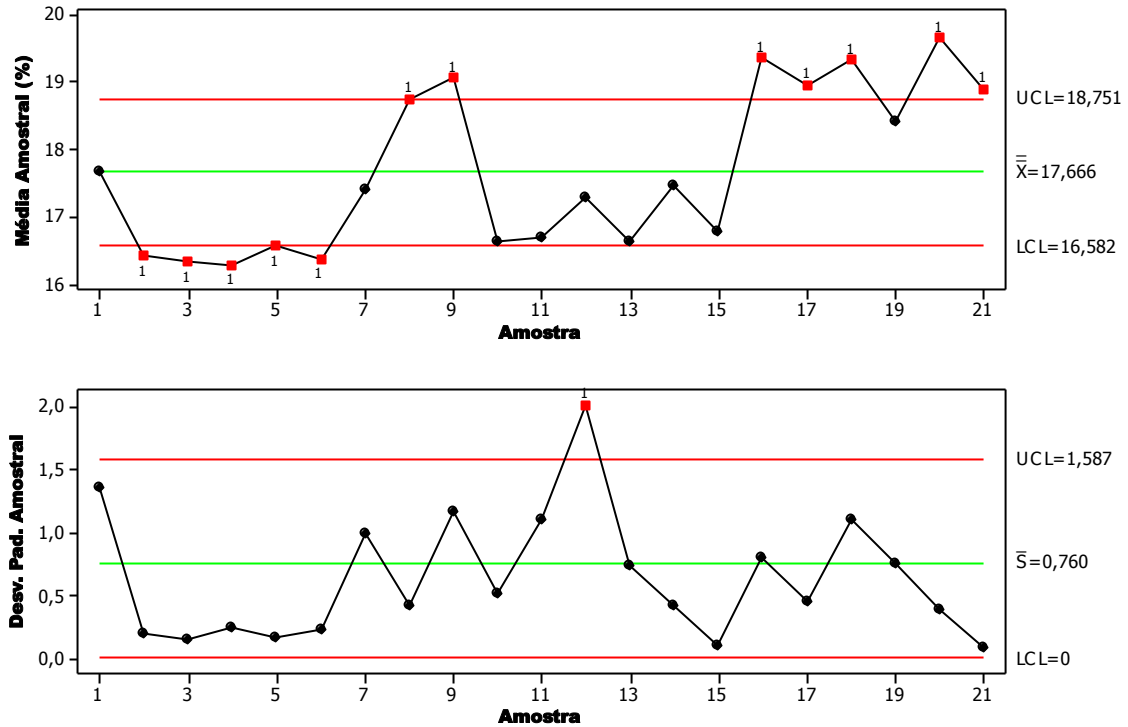


Figura 9. Gráfico X-S para carbono dos compostos produzidos na empresa

As últimas seis leiras apresentaram novamente comportamento diferente das demais bem como maiores quantidades de carbono (C). Na compostagem, o carbono é a fonte de energia aos microrganismos. Uma parte é consumida e liberada na forma de CO_2 , enquanto a outra parte ficará incorporada ao composto, em formas estáveis, como o húmus (AQUINO et al., 2005; SILVA et al., 2009). A quantidade maior de C pode indicar que, na montagem da leira, foi utilizada maior quantidade de material fibroso (poda de árvores, resíduos da desfibrilação do algodão, palha de milho), o que resultou em maior quantidade de C ao final do processo, portanto, algo positivo para o composto. No entanto, a maior quantidade de C também pode estar relacionada com a retirada do material antes da estabilização, com C disponível para degradação, logo prejudicial para a qualidade do composto. A utilização de composto com muito carbono disponível para decomposição pode causar amarelecimento e/ou queima da cultura adubada devido à retirada de nitrogênio (N) da planta pelos microrganismos para completar a decomposição (SILVA et al., 2002).

Para evidenciar o real motivo da maior quantidade de C nas últimas seis leiras, recorreram-se às planilhas fornecidas pela empresa, as quais fornecem as operações e o tempo de compostagem de cada leira (Anexo 1). Com os dados de tempo de compostagem realizou-se um teste T entre as últimas seis leiras e as demais (Figura 10A). Os indicadores de maturação do composto, pH, C/N e CTC/C também foram testados.

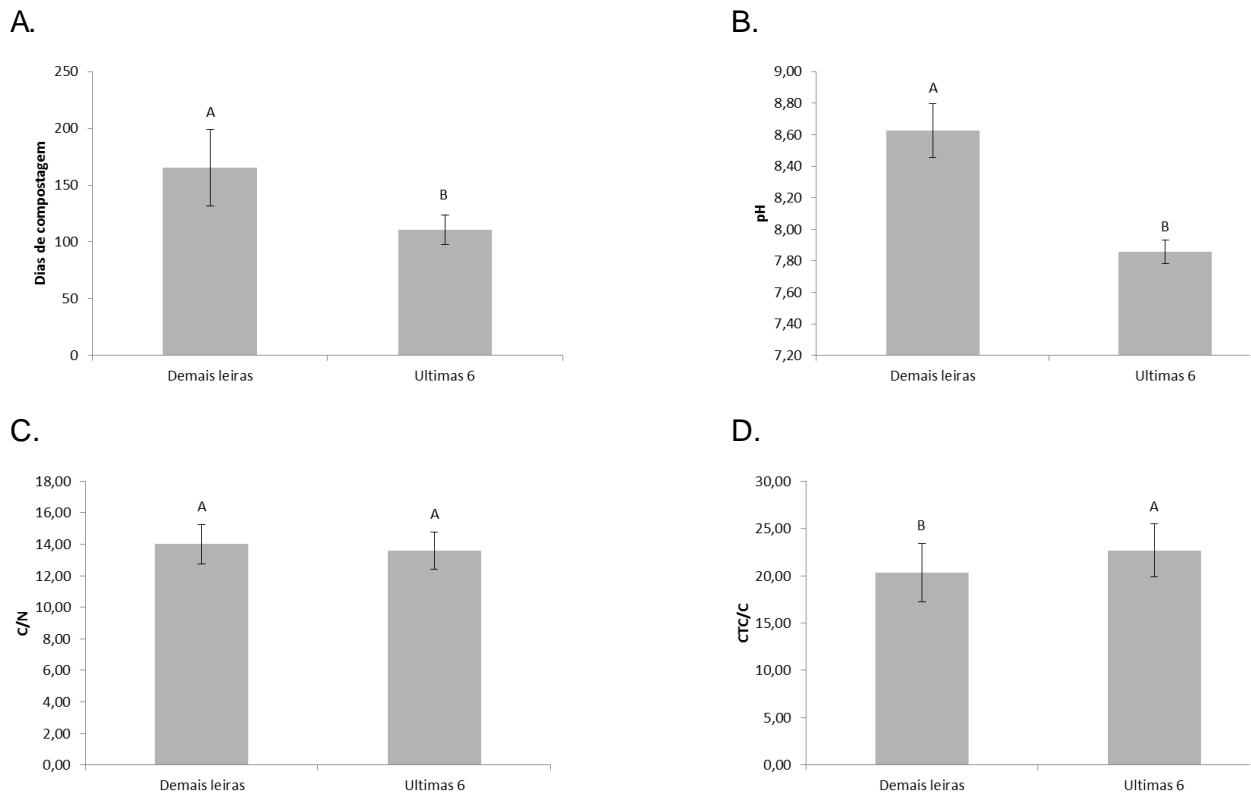


Figura 10. Teste T para médias das últimas seis leiras analisadas versus demais leiras em relação a tempo de compostagem (A), pH (B), relação C/N (C) e relação CTC/C (E)

As últimas seis leiras tiveram menor tempo de compostagem, 55 dias a menos em média ($p < 0,05$), o que pode indicar retirada prematura do pátio de compostagem para comercialização. Outro fato que chama atenção é o pH menor nessas leiras ($p < 0,05$), indicando menor grau de estabilização do composto (VALENTE et al., 2009).

A relação CTC/C também é utilizada como parâmetro indicador de maturidade. Quanto maior esta relação, mais maturado está o composto. No entanto, a CTC apresentou correlação positiva com o C, $r = 0,463$ ($p < 0,05$), logo, quanto maior o C, maior a CTC. Isso fez com que a relação fosse maior nas últimas leiras ($p < 0,05$), passando uma falsa impressão de maturidade.

O mesmo ocorre com outro indicador de maturidade, a relação C/N. Quanto menor esta relação, mais estabilizado/maturado o composto está, e o húmus apresenta relação próxima a dez (10) (KIEHL, 2010). Observou-se correlação positiva entre C e N, $r = 0,597$ ($p < 0,05$), fato que impede maior relação C/N das últimas leiras ($p \geq 0,05$).

Nesse sentido, os indicadores de estabilidade não devem ser analisados separadamente para julgar se o composto está pronto. Existem ainda outros fatores não estudados neste trabalho, como o acompanhamento diário da temperatura da leira, a relação ácidos húmicos/ácidos fúlvicos, a relação $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ e o teste de germinação que podem ser utilizados para determinar a estabilização do material (BERNAL et al., 2009).

5.2.4 N, P e K

Não houve controle estatístico no processo em relação ao nitrogênio, pois os limites mínimo e máximo calculados foram extrapolados, 1,18 e 1,38%, respectivamente. O gráfico dos desvios manteve-se sob controle durante o período analisado, pois mostrou baixa variação dentro de uma mesma leira, sem exceder os limites (Figura 11).

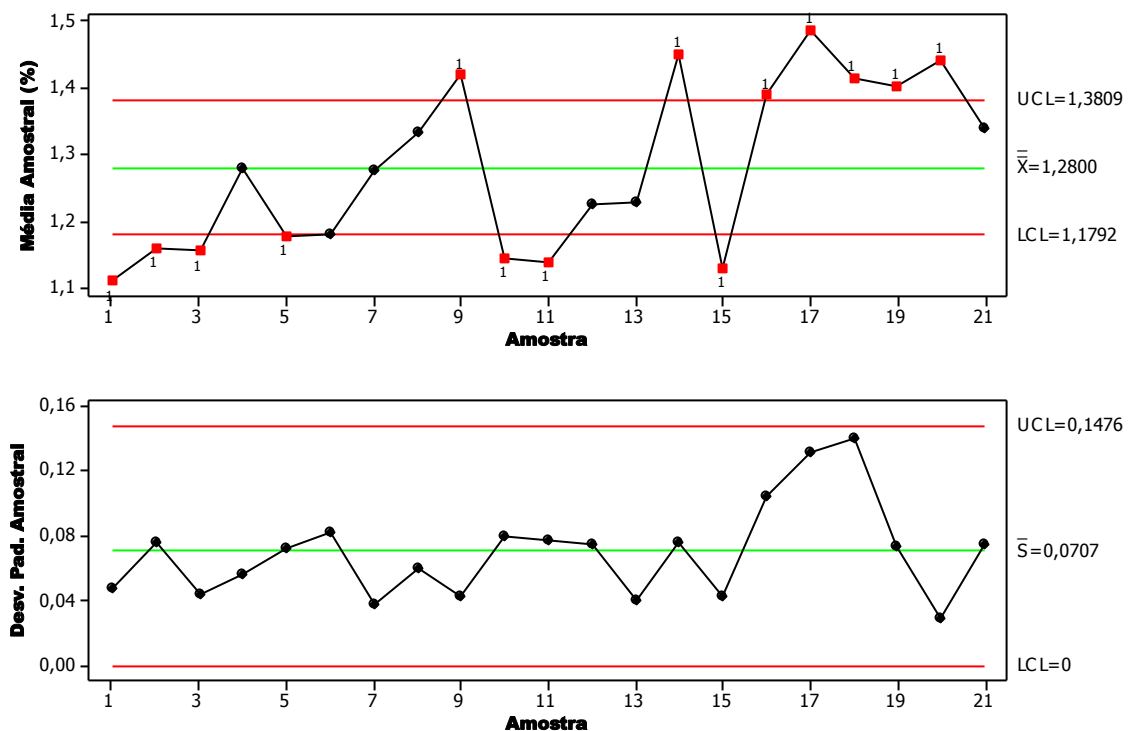


Figura 11. Gráfico X-S da % de N dos compostos produzidos na empresa

O nitrogênio, por sua importância na agricultura e conseqüentemente no composto orgânico, é uma variável que deve ser constantemente monitorada pela empresa. A variável apresentou baixa variação dentro de uma mesma leira (gráfico dos desvios) e a variação de uma leira para a outra (gráfico das médias) pode ser controlada com técnicas de retenção de N, como controle da relação C/N inicial, controle da aeração (revolvimentos), controle da temperatura das leiras e construção de barracão para fase final da compostagem (BERNAL et al., 2009; ORRICO JÚNIOR et al., 2010; CARNEIRO et al., 2013).

O processo não apresentou controle estatístico em relação ao fósforo. Nas primeiras leiras analisadas, os valores foram elevados e apresentaram oito pontos acima do limite superior ($29,92 \text{ mg.kg}^{-1}$), enquanto as últimas seis leiras apresentaram os menores valores de P, ficando abaixo do limite inferior de $24,93 \text{ mg.kg}^{-1}$ (Figura 12).

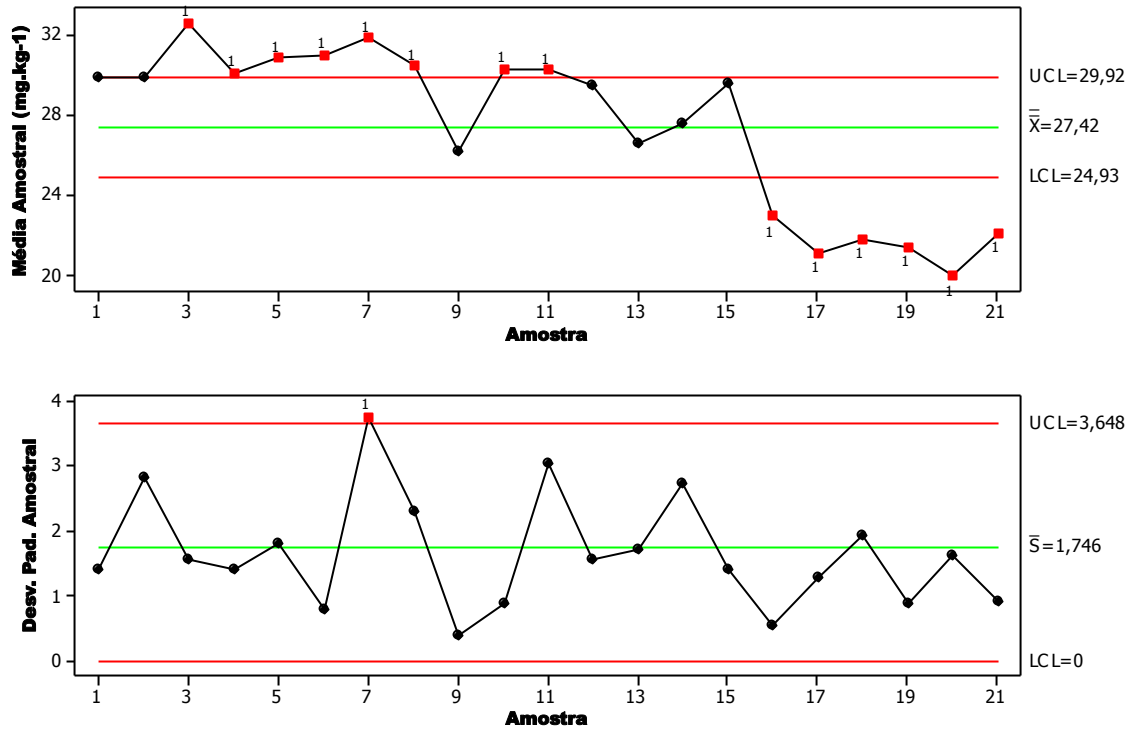


Figura 12. Gráfico X-S da % de P₂O₅ dos compostos produzidos na empresa

As menores concentrações de fósforo coincidem com as maiores concentrações de carbono, porém, as variáveis apresentam correlação negativa, $r = -0,612$ ($p < 0,05$). Fato que reforça a não maturidade das últimas seis leiras, como demonstrado anteriormente. O fósforo é um elemento de baixa mobilidade, sem sequer sofrer influência da cobertura do pátio de compostagem, conforme demonstrado em Carneiro et al. (2013). Logo, a quantidade total de fósforo em uma leira de compostagem não varia muito com o tempo. Isso faz com que a concentração aumente ao longo do processo de compostagem (TÁTANO et al., 2015), pois outros elementos são perdidos em grandes quantidades, principalmente C e N (PETRIC et al., 2009).

O fósforo é encontrado em grande quantidade nos resíduos agroindustriais e possui baixa mobilidade, conseqüentemente a concentração do mesmo é elevada nos compostos orgânicos provenientes de resíduos agroindustriais (CARNEIRO et al., 2013). Portanto, a preocupação da empresa deve ser direcionada para outros nutrientes que são facilmente perdidos, como o nitrogênio e o potássio (N e K).

O processo não apresentou controle estatístico em relação ao potássio, pois vários pontos foram observados acima e abaixo dos limites superior (6,14) e inferior (5,40), respectivamente. O comportamento foi semelhante ao observado para fósforo, com menores concentrações nas últimas leiras (Figura 13).

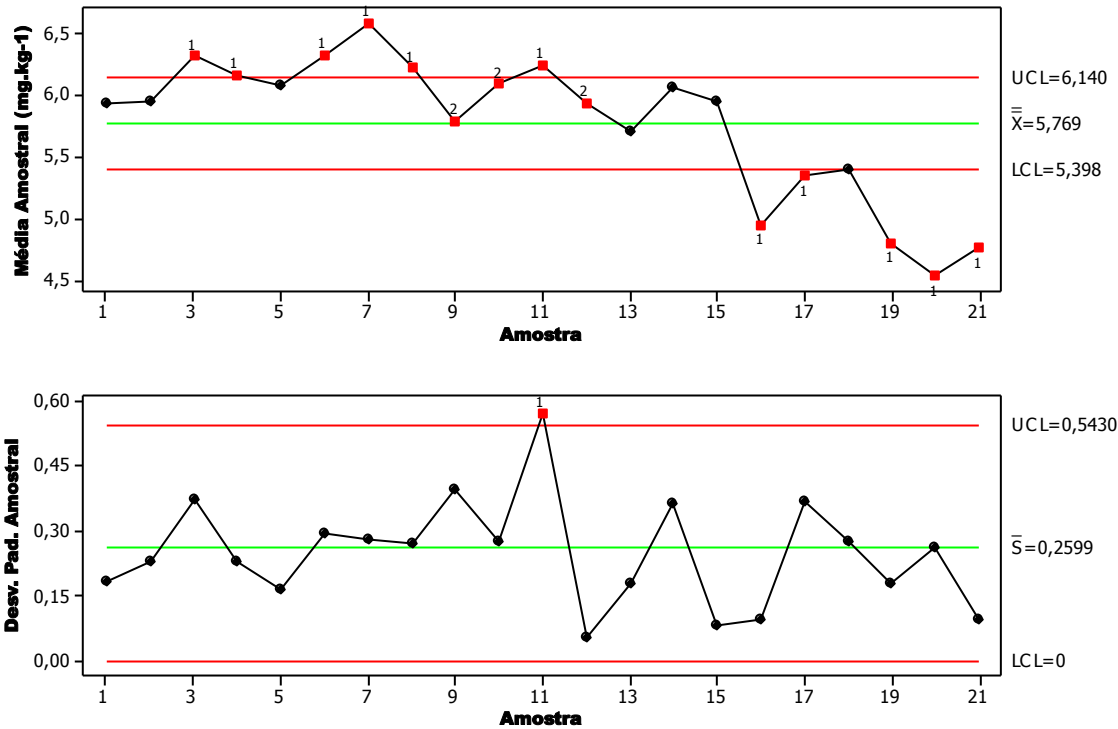


Figura 13. Gráfico X-S da % de K₂O dos compostos produzidos na empresa

Observou-se correlação negativa entre o carbono e potássio ($p < 0,05$), $r = -0,57$. Fato que remete a não estabilidade das últimas leiras, pois a elevada concentração de carbono reduziu a concentração de K₂O. Segundo Tátano et al. (2015), materiais estabilizados que passaram por longo período de compostagem apresentam maiores concentrações de P₂O₅ e K₂O.

5.2.5 Relação C/N

O processo não apresentou controle estatístico de qualidade para a relação C/N, pois foi observado um ponto acima do limite superior (15,29) e um ponto abaixo do limite inferior de 12,50 (Figura 14).

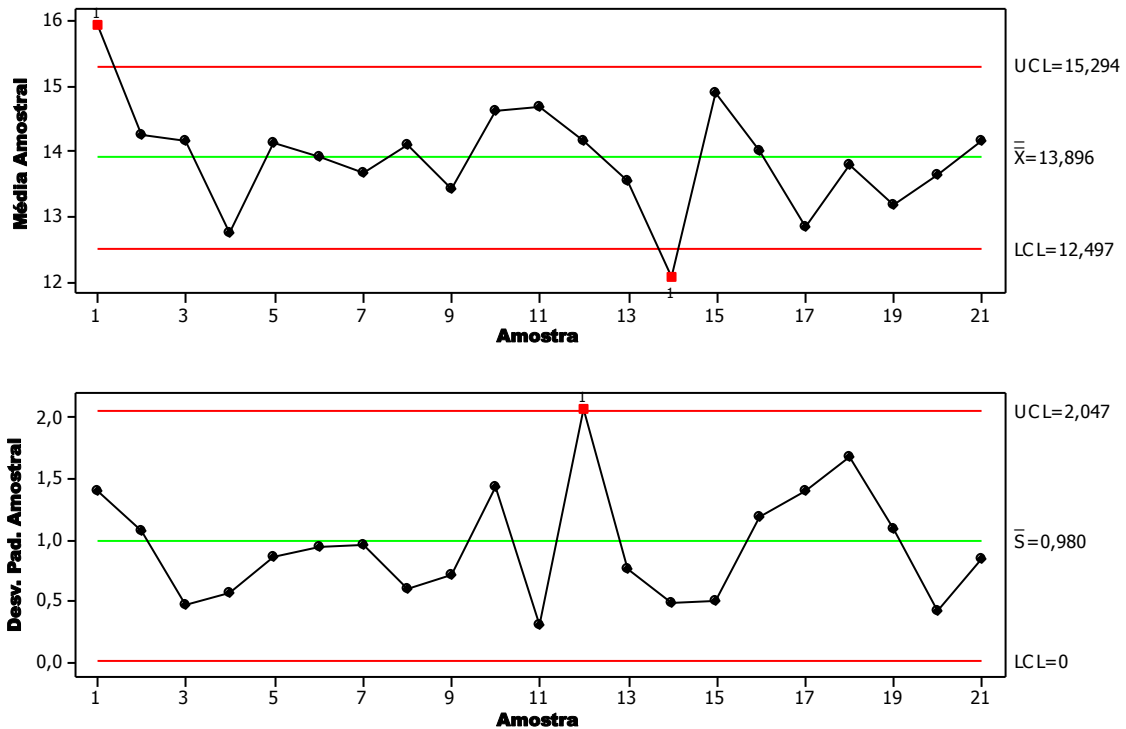


Figura 14. Gráfico X-S da relação C/N dos compostos produzidos na empresa

Na planilha de monitoramento fornecida pela empresa, observou-se que tal leira foi umedecida com chorume no dia 05/02/2014, quando já transcorridos cinco meses de compostagem e, depois de um mês, o processo foi dado como finalizado e a leira seguiu para secagem e peneiramento. O chorume possui minerais dissolvidos, mas possui também carbono solúvel, o qual, quando aplicado na leira nos últimos dias de compostagem, pode não ter sido consumido pelos microrganismos, consequentemente há aumento na relação C/N final da leira.

Recomendações de utilização de líquidos com matéria orgânica apenas nos primeiros meses de compostagem foram dadas aos funcionários da empresa, todavia, a partir da quinta leira, não se encontrou registro de umedecimento nas fases finais com resíduos líquidos.

A relação C/N é um indicador de atividade na compostagem, conforme os microrganismos consomem carbono, liberando na forma de CO_2 , a relação C/N diminui (AQUINO et al., 2005; LOUREIRO et al., 2007). A relação C/N não apresentou grande variação e pode ser facilmente controlada com a confecção de leiras equilibradas em relação aos nutrientes C e N (KIEHL, 2010). Neste sentido, a relação C/N é um importante fator a ser monitorado e controlado usando os gráficos de controle pela empresa.

5.2.6 CTC

O processo não apresentou controle estatístico de qualidade em relação à CTC, pois foram observados cinco pontos acima do limite superior ($410,70 \text{ cmol}_c.\text{kg}^{-1}$) e seis pontos abaixo do limite inferior ($331,60$). Observou-se aumento da CTC nas últimas leiras, fato explicado anteriormente pela correlação com o carbono (Figura 15).

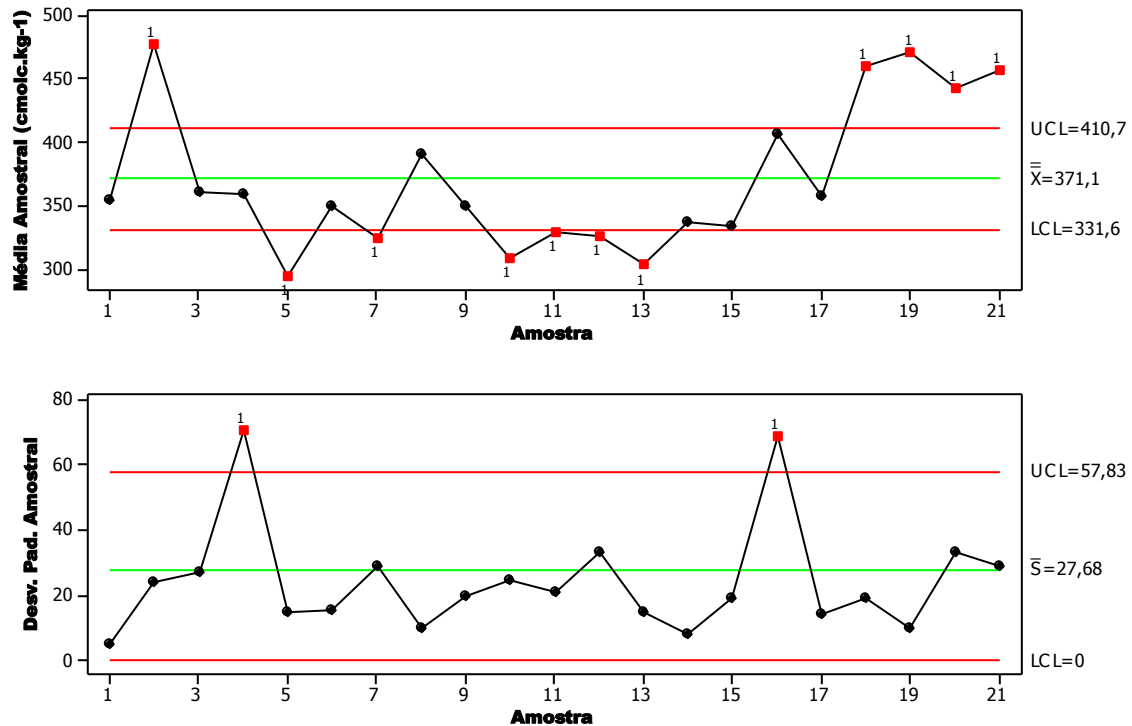


Figura 15. Gráfico X-S da CTC dos compostos produzidos

Além da correlação com o carbono, a CTC apresenta grande variação entre os indivíduos (gráfico das médias) quando comparada à variação dentro da mesma leira (gráfico dos desvios). Fato que reduz a tolerância do gráfico X-S, logo, essa variável não é boa para monitoramento de acordo com este tipo de gráfico.

5.2.7 Relação CTC/C

A relação CTC/C é um indicador de maturidade do composto. Quanto maior a relação, mais humificado o composto (BERNAL et al., 2009; GAVILANES-TERÁN et al., 2016). O processo de produção de composto não apresentou controle estatístico, pois os limites inferior e superior foram extrapolados (Figura 16).

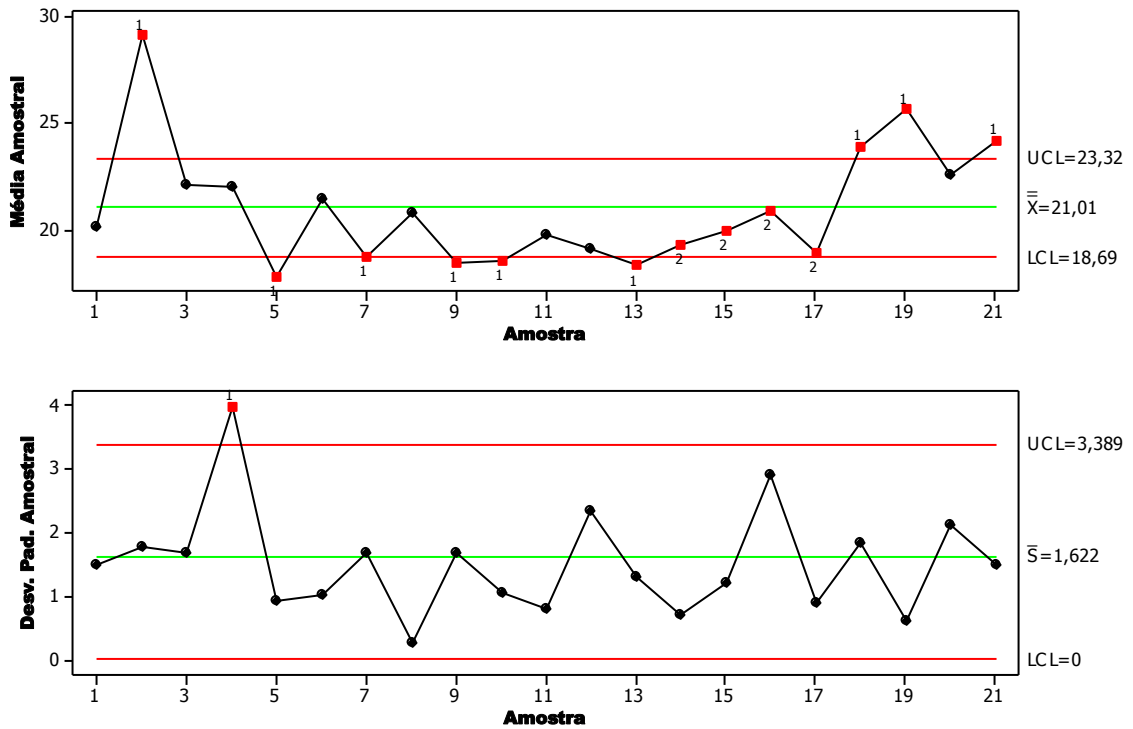


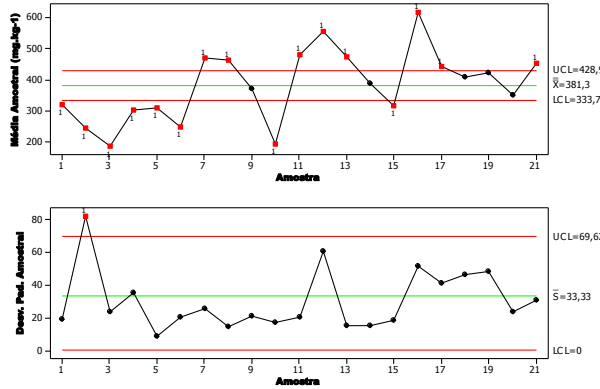
Figura 16. Gráfico X-S da relação CTC/C dos compostos produzidos na empresa

Embora os maiores valores de CTC tenham sido observados nas últimas leiras, exceto a 2^a leira, não podemos concluir que estas eram leiras estabilizadas devido a correlação da CTC com o carbono, logo esta variável sozinha não é um bom indicador de estabilidade.

5.2.8 Metais

O processo de produção de composto da empresa analisada não apresentou controle estatístico em relação ao cobre e ao zinco (Cu e Zn), pois se observou extrema variação de uma leira para outra, com vários pontos fora dos limites calculados (Figura 17).

A.



B.

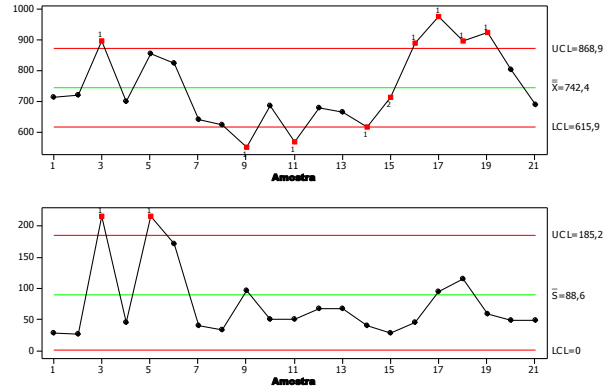
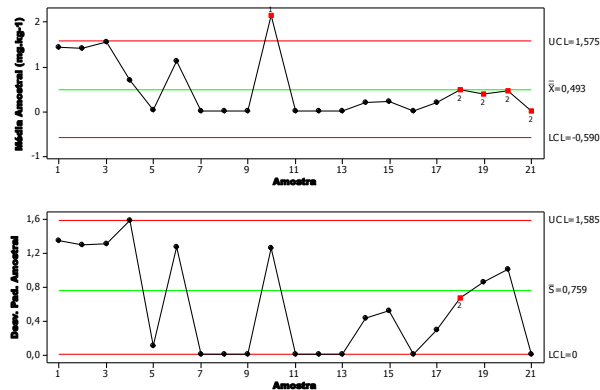


Figura 17. Gráfico X-S para Cu (A) e Zn (B) dos compostos produzidos

O processo de produção de composto orgânico não apresentou controle estatístico de qualidade em relação à concentração dos metais Cd e Pb, pois observaram-se pontos fora dos limites calculados (Figura 18).

A.



B.

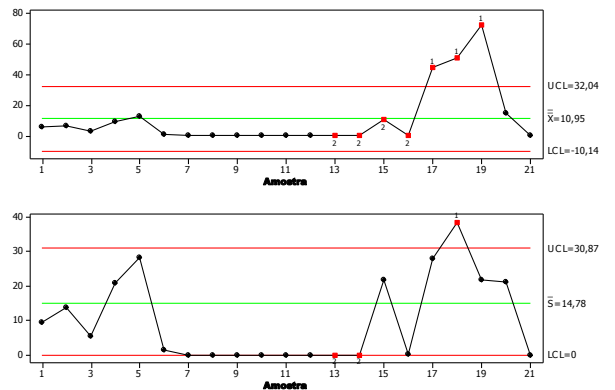


Figura 18. Gráfico X-S para Cd (A) e Pb (B) dos compostos produzidos

A décima leira analisada apresentou maior concentração de cádmio (Cd). Ao se analisar a planilha de monitoramento da empresa observou-se que a leira foi umedecida com resíduo líquido proveniente de uma fábrica de ração, o que pode ter contribuído para o aumento da concentração de Cd no composto.

As leiras 17, 18 e 19 apresentaram as maiores concentrações de chumbo (Pb). Na planilha de monitoramento não se constatou a presença de materiais ou o manejo diferenciado para explicar a variação. Alguns resíduos podem chegar contaminados até a empresa, pois o Pb é usado na confecção de pilhas e baterias, as quais podem ser descartadas equivocadamente com os resíduos orgânicos.

5.3 Capacidade do processo de produção de composto

O cálculo do índice de capacidade (CP_k) de dados não normais, os quais assumem normalidade, causa grande variação neste índice (HARSTELN et al., 2010). Portanto, utilizaram-se transformações de Box-Cox e Johnson para a adequação dos dados à curva normal, quando necessário. A Tabela 6 mostra o lambda ótimo para a transformação de Box-Cox, calculado pelo Minitab 16, os limites de especificação inferior (LIE) e superior (LSE), os índices de capacidade em relação ao limite inferior (CP_L) e superior (CP_U) bem como o índice de capacidade geral (CP_k) para cada variável analisada, os quais serão discutidos separadamente a seguir.

Tabela 6. Transformações, limites de especificação e índices de capacidade das variáveis analisadas

Variáveis	λ Box-Cox	LIE	LSE	CP_L	CP_U	CP_k
Umidade	5	NE	50	NC	12,77	12,77
pH	-0,5	6	NE	14,17	NC	14,17
CE	-2	NE	6	NC	2,54	2,54
C	-1	15	NE	1,26	NC	1,26
N	N	1	NE	1,24	NC	1,24
P_2O_5	-0,5	5	NE	13,51	NC	13,51
K_2O	-0,5	4	NE	2,79	NC	2,79
C/N	N	NE	18	NC	1,31	1,31
CTC	N	67	NE	3,44	NC	3,44
CTC/C	0	20	NE	0,16	NC	0,16
Cu	N	NE	70	NC	-2,93	-2,93
Zn	-1	NE	200	NC	-8,36	-8,36
Cd	J	NE	0,7	NC	0,07	0,07
Pb	J	NE	45	NC	0,47	0,47

N: normal; J: transformação de Johnson; NE: não especificado; NC: não calculado

5.3.1 Umidade

Conforme a Tabela 3, o processo de compostagem da empresa foi capaz de produzir composto orgânico dentro da especificação de umidade, pois $CP_k \geq 1,33$ (MONTGOMERY, 2012). A umidade final das leiras é controlada com a redução do umedecimento quando a leira está estabilizada, temperatura se aproxima da temperatura do ambiente, e quando necessário com revolvimentos frequentes (GUARDIA et al., 2008). Em caso de chuva, a utilização de lonas para cobrir leiras prontas é outra técnica utilizada pela empresa.

A variação excessiva na umidade do produto pode ser reduzida com a utilização de sensores ou sondas, o que facilitaria a tomada de decisão do melhor momento para peneiramento e expedição do produto. Outro ponto importante é a construção de um

barracão para cura e secagem das leiras estabilizadas. Segundo Carneiro (2012), o excesso de chuva nas fases finais da compostagem reduz a concentração de nutrientes pela lixiviação e deixa o material pesado, difícil de ser trabalhado, aumentando os custos energéticos.

A obtenção de umidade baixa ao final do processo de compostagem é essencial para a empresa, pois reduz os custos de transporte e facilita as operações, como o peneiramento, além de garantir a satisfação do cliente.

5.3.2 pH e CE

O pH é um indicativo de estabilidade do composto (COSTA et al., 2009), portanto, o limite mínimo estabelecido em norma é de 6,0 (BRASIL, 2005) e este foi o valor utilizado para cálculo da capacidade do processo. Nesse sentido, verifica-se que o processo de compostagem foi capaz de produzir composto orgânico com pH acima do limite proposto, pois o $CP_K \geq 1,33$ (MONTGOMERY, 2012).

A condutividade elétrica (CE) é uma medida indireta da quantidade de sais solúveis (nutrientes) no composto (CARNEIRO et al., 2011). Valores baixos de CE representam composto pobre, no qual as plantas crescem lentamente, por outro lado, valores muito elevados de CE podem desidratar as sementes por osmose. Segundo Richards (1954) citado por Chan et al. (2016), compostos com CE menor que 6 mS.cm^{-1} não apresentam risco para a maioria das culturas, logo esse valor foi utilizado no cálculo da capacidade do processo.

O processo de compostagem mostrou-se capaz de produzir composto orgânico com CE abaixo do limite proposto, pois $CP_K \geq 1,33$ (MONTGOMERY, 2012), e não foram observados dados acima do limite de especificação de 6 mS.cm^{-1} .

Os menores valores de pH e CE nas últimas seis leiras podem indicar que essas não permaneceram tempo suficiente para estabilização no pátio de compostagem, pois o composto estabilizado apresenta pH elevado (BREWER;SULLIVAN, 2003; VALENTE et al., 2009). Ademais, é esperado aumento na CE devido à grande perda de massa no processo e conseqüente aumento na concentração de minerais e metais (CARNEIRO et al., 2013).

5.3.3 Carbono

Mesmo com a variação obtida, as concentrações de C foram acima do especificado em norma que é 15% (BRASIL, 2005). Este valor foi utilizado para medir a capacidade do processo que se mostrou aceitável, pois $1 \leq CP_K < 1,33$ (MONTGOMERY, 2012).

A quantidade final de C está intimamente ligada aos materiais utilizados na montagem da leira, à quantidade de carbono que possuem e à qualidade do mesmo (ORRICO et al., 2007). As leiras que apresentaram menores quantidades de carbono foram montadas no início de 2014. Atualmente, a empresa estoca as fontes de carbono (poda de árvores, resíduo da desfibrilação de algodão, palha de milho, dentre outros) para montagem de leiras imediatamente após a chegada de resíduos com grande quantidade de nitrogênio (resíduo de incubatório, vísceras de animais, lodo de flotor e outros), os quais não podem ficar expostos por atraírem moscas e exalarem odores desagradáveis.

5.3.4 N, P e K

O limite mínimo exigido no composto orgânico é de 1% (BRASIL, 2005) e este foi o valor adotado para calcular os índices de capacidade do processo que se mostrou aceitável, pois $1 \leq CP_K < 1,33$ (MONTGOMERY, 2012), logo o processo pode ser melhorado em relação a esta variável.

As perdas de N na compostagem acontecem por volatilização da amônia (PAILLAT et al., 2005) e lixiviação (GUARDIA, et al., 2010). As perdas de N por volatilização estão intimamente ligadas ao carbono biodegradável presente nos resíduos (BERNAL et al., 2009), a relação C/N e as temperaturas elevadas (ORRICO JUNIOR et al., 2010; PAIVA et al., 2012).

Segundo Carneiro et al. (2013), as perdas de N são reduzidas em aproximadamente 13% quando as leiras são revolvidas duas vezes por semana no primeiro mês e uma vez por semana nos meses subsequentes, quando comparadas às leiras revolvidas três vezes por semana no primeiro mês. Os autores concluem ainda que a cobertura do pátio de compostagem reduz as perdas de N em 10%. As perdas por lixiviação são facilmente controladas com manutenção adequada da umidade da leira, cobertura do pátio e reaproveitamento do chorume (BERNAL et al., 2009). O uso de chorume no umedecimento da leira é uma técnica utilizada na empresa.

A adição de água na leira logo após o revolvimento diminui as emissões de gases devido ao menor espaço poroso livre (KADER et al., 2007). Outro fato a ser considerado é a solubilidade da amônia em água, logo, esta técnica, que já é utilizada pela empresa, contribui também para retenção de N na leira.

A norma brasileira não especifica um limite mínimo ou máximo para fósforo, apenas exige que a quantidade presente no material seja informada. Para calcular a capacidade do processo foram utilizadoe 5 g.kg⁻¹ de P₂O₅, limite mínimo encontrado na norma italiana, valores citados por Tatàno et al. (2015) no controle de qualidade de composto produzido em composteiras domésticas.

O processo mostrou-se capaz de produzir acima do limite proposto para P₂O₅, pois CP_K ≥ 1,33 (MONTGOMERY, 2012). Os valores de fósforo estão bem acima do mínimo exigido pela norma italiana. Isso é explicado pela composição inicial das leiras, as quais são montadas com grandes quantidades de lodo de flotor, aproximadamente 50% do peso úmido da leira (Tabela 1). O lodo de flotor apresenta 3,34 g.kg⁻¹ de fósforo (P) segundo caracterização de Carneiro et al. (2013).

O MAPA não determina limite mínimo ou máximo para potássio, logo, também se utilizou a norma italiana, a qual determina limite mínimo de 4 g.kg⁻¹ de K₂O. O processo mostrou-se capaz de produzir um composto com mais de 4 g.kg⁻¹ de K₂O, pois CP_K ≥ 1,3 (MONTGOMERY, 2012). Embora o processo apresente-se capaz, deve-se tomar atenção especial com o potássio, pois o mesmo é facilmente perdido por lixiviação, principalmente em leiras descobertas (CEKMECELIOGLU et al., 2005). Carneiro et al. (2013) observaram perdas de potássio 40% menores em pátio coberto na compostagem de resíduos agroindustriais na região Oeste do Paraná.

A técnica de reaproveitamento de chorume, utilizada pela empresa, contribui para as elevadas concentrações de potássio no composto. No entanto, é recomendada a construção de um barracão para cura do composto, pois aumentaria ainda mais a concentração de nutrientes, qualidade do composto, pois as perdas por lixiviação diminuem.

5.3.5 Relação C/N

A relação C/N máxima permitida é de 18 (BRASIL, 2015). Segundo Kiehl (2010), esse valor indica que a fase intensa de decomposição já terminou, restando a fase de cura ou maturação. Este limite máximo foi utilizado para cálculo da capacidade do processo, o qual se mostrou aceitável, pois $1 \leq CP_K < 1,33$ (MONTGOMERY, 2012).

A relação C/N inicial adequada da leira de compostagem é importante para o bom andamento do processo e reduz as perdas de N por volatilização (LIANG et al., 2006; ORRICO JUNIOR et al., 2010). Deve-se buscar o equilíbrio da relação C/N, utilizando-se resíduos ricos em nitrogênio, aliados aos resíduos palhosos (SILVA et al., 2002). Para melhorar a relação C/N inicial das leiras, desenvolveu-se uma planilha eletrônica para

estimar a relação C/N da mistura de resíduos, utilizando como dados de entrada quantidade de cada resíduo, umidade, %C e %N, de acordo com caracterização prévia.

5.3.6 CTC

No Brasil não há limitação quanto à CTC, o valor deve ser apenas informado na embalagem do produto (BRASIL, 2005). No entanto, segundo Iglesias-Jiménez; Pérez-García (1992), materiais estabilizados apresentam CTC maiores que 67 cmolc.kg^{-1} , valor utilizado para cálculo da capacidade do processo que foi capaz de produzir um composto com CTC adequada, pois $CP_K \geq 1,33$ (MONTGOMERY, 2012).

As 105 observações estiveram bem acima do limite proposto, cuja média geral foi de $371 \text{ cmolc.kg}^{-1}$, valor próximo ao encontrado por Breer; Sullivan (2003), na compostagem de aparas de jardim e superior ao encontrado por Gavilanes-Terán et al. (2016), na compostagem de resíduos hortícolas.

5.3.7 Relação CTC/C

O limite mínimo exigido pelo MAPA para a relação CTC/C é 20 (BRASIL, 2005). Este valor foi usado no cálculo da capacidade do processo, o qual se mostrou incapaz de produzir um composto com relação CTC/C acima de 20, $CP_K < 1$ (MONTGOMERY, 2012). O MAPA não exige um valor mínimo de CTC, no entanto, o valor mínimo de carbono é de 15% e a relação CTC/C mínima é de 20. Logo, conclui-se que o mínimo a apresentar o composto estabilizado segundo a norma brasileira é de $300 \text{ cmolc.kg}^{-1}$, valor extremamente superior ao considerado adequado para composto de lodo estabilizado segundo Iglesias-Jiménez; Pérez-García (1992) e ao caracterizado por Melo et al. (2008) para composto (31,1), substrato orgânico (67,4) e material húmico ($97,3 \text{ cmolc.kg}^{-1}$).

A relação CTC/C deve ser maior que 1,9 para que o composto apresente bom estado de humificação (IGLESIAS-JIMÉNEZ; PÉREZ-GARCÍA, 1992). Os valores máximos encontrados na literatura são: Gavilanes-Terán et al. (2016), 1,29 na compostagem de resíduos hortícolas; Bustamante et al. (2008), 2,72 na compostagem de resíduos de vinícolas com dejetos de animais; e Cayuela et al. (2006), 4 na compostagem de resíduos da prensagem de oliva com dejetos ovinos. Logo, o valor exigido na norma brasileira não condiz com a realidade.

5.3.8 Metais

Os limites máximos para Cu, Zn, Cd e Pb são: 70; 200; 0,7 e 45 mg.kg⁻¹ de matéria seca, respectivamente (BRASIL, 2014). Esses valores foram utilizados para cálculo dos índices da capacidade do processo, os quais se mostraram incapazes para os quatro metais analisados, pois $CP_K < 1$ (MONTGOMERY, 2012).

A capacidade do processo em relação ao Cu e ao Zn foi extremamente baixa (valores negativos), e as 105 observações foram superiores ao limite máximo especificado na norma brasileira. As médias foram de 381,31 e 742,44 mg.kg⁻¹ para Cu e Zn, respectivamente. Tais médias estariam de acordo com os limites máximos de países como a Áustria, a Bélgica, a Espanha e os EUA. Já para Cd e Pb, as médias foram de 0,49 e 10,95 mg.kg⁻¹, respectivamente, ou seja, valores abaixo inclusive das normas internacionais (EMBRAPA, 2009). No entanto, a extrema variação não permitiu que o processo fosse capaz segundo a classificação de Montgomery (2012).

A compostagem aumenta a concentração de metais devido às grandes perdas de carbono e nitrogênio (PETRIC et al., 2009; CARNEIRO et al., 2013). Isto traz a falsa impressão de que o processo é prejudicial, porém, a maior parte dos metais fica imobilizada na matéria orgânica, tornando-os indisponíveis às plantas (HAROUN et al., 2007; KANG et al., 2011).

6 CONCLUSÕES

Os gráficos de controle auxiliam a empresa na tomada de decisão para chegar a um produto padronizado. No entanto, a grande variabilidade inerente aos processos biológicos deve ser levada em consideração e níveis de tolerância maiores podem ser adotados bem como novas ferramentas de monitoramento podem ser desenvolvidas.

O processo de compostagem estudado não apresenta controle estatístico de qualidade para todos os parâmetros avaliados. A variabilidade do composto produzido é elevada e é explicada pela composição inicial das leiras, pelo manejo adotado e pelo tempo de pátio diferente. A formulação de um manual de manejo das leiras é essencial para obtenção de um produto controlado estatisticamente.

A empresa é capaz de produzir composto orgânico dentro das normas e/ou limites seguros em relação à (ao): umidade, pH, CE, P, K, CTC. O processo de produção é aceitável em relação ao carbono, ao nitrogênio e à relação C/N e incapaz quanto à relação CTC/C, Cu, Zn, Cd e Pb.

Considerando-se a importância do controle de qualidade da produção de composto orgânico, a facilidade de análise e a adequação ao método estatístico de gráficos de controle, as variáveis a serem monitoradas pela empresa são: C, N e relação C/N.

7 INTERVENÇÕES SUGERIDAS PARA A EMPRESA

A Compostec é uma empresa pioneira no recolhimento, tratamento e disposição de resíduos agroindustriais na região Oeste do Paraná e é notória a evolução da empresa nos últimos anos. No entanto, uma série de melhorias se faz necessária com o estudo de controle de qualidade, a grande maioria de baixo custo e necessidade imediata para elevar a eficiência do processo.

A caracterização dos resíduos recebidos na empresa é essencial para a qualidade do produto final. Observou-se que a variação na qualidade final do produto está relacionada com a matéria inicial utilizada, bem como os líquidos usados no umedecimento. O monitoramento das características dos resíduos facilita a montagem da leira com características semelhantes. Este monitoramento é indicado por Rodrigues (2004) para usinas de lixo urbano.

Outra necessidade observada em relação à entrada dos resíduos é no barracão de montagem, onde eles são misturados para formar a leira. É importante um sistema de baias para separação dos resíduos, pois, de posse das quantidades e características dos resíduos, pode-se utilizar a planilha fornecida à empresa para montagem de leiras com relação C/N adequada, a fim de que se diminuam as perdas de nitrogênio e o tempo de compostagem (ORRICO JUNIOR et al., 2010; PAIVA et al., 2012).

A planilha fornecida à empresa pela equipe de pesquisa funciona com simulações, e as quantidades de cada resíduo são preenchidas bem como umidade, %N e %C e a relação C/N final são calculadas. O ideal seria o desenvolvimento de um software que fizesse o contrário, sendo os dados de entrada umidade, %C, %N de cada resíduo e a relação C/N final pretendida; assim, o programa forneceria cenários para montagem da leira com as quantidades de cada resíduo. O desenvolvimento desse programa pode acontecer em parceria com outras empresas e universidades.

Outra questão importante para a empresa é a eficiência do pátio de compostagem. O revolvedor autopropelido utilizava uma área grande para deslocamento, diminuindo o espaço útil do pátio (Figura 4). No entanto, após sugestões da equipe de pesquisa, uma nova máquina foi projetada e encontra-se em fase de testes e ajustes. Esta máquina reduziu o espaçamento entre as leiras, pois necessita de espaço apenas para os rodados.

O umedecimento era feito com caminhão pipa acoplado ao revolvedor. Isto dificultava qualquer cálculo da quantidade de água aplicada, pois sofre influência da velocidade do revolvedor autopropelido e da potência da bomba, além do acionamento e desligamento ser manual, o que pode umedecer muito determinada parte da leira, em caso de necessidade de parada do revolvedor.

A nova máquina foi projetada com reservatório de água próprio. A umidade ideal na compostagem é de 60% (KIEHL, 2010). Assim, para manter tal umidade é necessário saber a umidade atual da leira e seu peso, para se calcular a quantidade de água necessária e assim atingir os 60%. Neste contexto, surge a possibilidade de automação deste sistema, portanto, a utilização de sensores no revolvedor determinaria a umidade e a densidade por metro de leira. Estes valores seriam enviados para um computador de bordo que calcularia a necessidade de água por metro de leira em tempo real, o qual enviará o comando para aumentar ou reduzir a vazão. Este é outro projeto que a empresa pode fazer em conjunto com universidades.

A leira estabilizada continua sendo revolvida e exposta ao sol para secagem. Este processo utiliza mão de obra para cobrir e descobrir as leiras com lonas e não é eficaz, pois, muitas vezes, o composto não perde umidade, já que, na fase final, tem grande capacidade de reter água (CARNEIRO, 2012). Recomenda-se a construção de um barracão para cura e secagem de leiras estabilizadas ou semi-curadas, reduzindo assim as perdas de nutrientes por lixiviação (BERNAL et al., 2009; CARNEIRO et al., 2013). O barracão deve ser arejado e os trabalhadores devem usar equipamento de proteção contra os gases oriundos da compostagem.

As reuniões com os funcionários e a formulação de uma cartilha de manejo das leiras são essenciais para o bom andamento do processo. Os funcionários precisam saber o porquê das suas ações na empresa. Alguns conceitos básicos como: tratamento de resíduos, poluição atmosférica e poluição da água devem ser passados para conscientizá-los e incentivá-los na busca por soluções para a empresa. As reuniões em que todos os funcionários opinam são conhecidas no controle de qualidade como *brainstorming*. As estratégias podem ser gradualmente implementadas e os resultados devem ser conferidos periodicamente. Esta técnica é conhecida no controle de qualidade como ciclo PDCA (Plan, Do, Check, Act), traduzindo para o português: planejar, fazer, checar/analisar e agir.

Neste trabalho, foram utilizadas apenas técnicas de monitoramento da qualidade do processo. No entanto, existem outras técnicas de controle de qualidade que a empresa pode implantar, a fim de se obter excelência na produção de composto orgânico.

Mesmo que os compostos produzidos extrapolem os limites de metais pesados ou não atinjam a qualidade exigida pela legislação, é vantajoso o uso da compostagem, pois o mesmo retira resíduos indesejáveis do meio ambiente e evita o uso dos mesmos sem tratamento (BARREIRA, et al., 2006). A implementação de usinas de compostagem contribui ainda no âmbito social porque também emprega inúmeras pessoas, como no caso Compostec, que emprega direta e indiretamente 65 funcionários na região Oeste do Paraná.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AHN, H. K.; MULBRY, W.; WHITE, J. W.; KONDRAD, S. L. Pile mixing increases greenhouse gas emissions during composting of dairy manure. **Bioresource Technology**, v. 102, p. 2904–2909, 2011.

ALCANTARA, M. S. **Avaliação de biodigestor tubular na degradação anaeróbia de cama de frango de corte**. Cascavel, 2012. 48f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade Estadual do Oeste do Paraná.

AMORIM, A. C.; LUCAS JUNIOR, J.; RESENDE, K. T. Compostagem e vermicompostagem de dejetos de caprinos: efeito das estações do ano. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 25, n. 1, p. 57-66, jan./abr., 2005.

APHA – AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 21st ed. Washington, DC: APHA, 2005.

AQUINO, A. M. DE.; OLIVEIRA, A. M. G.; LOUREIRO, D. C. **Integrando Compostagem e Vermicompostagem na Reciclagem de Resíduos Orgânicos Domésticos**. Circular Técnica n. 12, Embrapa Agrobiologia, 4 p., 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004** - Resíduos sólidos: classificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

BARREIRA, L. P., PHILIPPI JUNIOR, A., RODRIGUES, M. S. Usinas de compostagem do Estado de São Paulo: Qualidade dos compostos e processos de produção. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 11, p. 385-393. Out./dez., 2006.

BRASIL. **Conselho nacional do Meio Ambiente – Resolução 358/05**. Brasília, 2005.

BRASIL. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 23, 31 de agosto de 2005. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 8 set. 2005. Seção 1, p. 12.

BENITES, V. de M. **Produção de insumos agrícolas a partir de resíduos agroindustriais**. Fertibio, 2006. Bonito/MS.

BERNAL, M. P.; ALBURQUERQUE, J. A.; MORAL, R. Composting of animal manures and chemical criteria for compost maturity assessment. A review. **Bioresource Technology**, v. 100, p. 5444-5453, 2009.

BREWER, L. J.; SULLIVAN, D. M. Maturity and stability evaluation of composted yard trimmings. **Compost Science & Utilization**, v. 11, n. 2, p. 96-112, 2003.

BRITO, L. M.; AMARO, A. L.; MOURÃO, I.; COUTINHO, J. Transformação da matéria orgânica e do nitrogênio durante a compostagem da fração sólida do chorume bovino. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v. 32, p. 1959-1968, 2008.

BUSTAMANTE, M. A.; PAREDES, C.; MARHUENDA-EGEA, F. C.; PÉREZ-ESPINOSA, A.; BERNAL, M. P.; MORAL, R. Co-composting of distillery wastes with animal manures: Carbon and nitrogen transformations in the evaluation of compost stability. **Chemosphere**, v. 72, p. 551–557, 2008.

- CARNEIRO, L. J. **Compostagem de resíduos agroindustriais: Revolvimento, inoculação e condições ambientais**. Cascavel, 2012. 65 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade Estadual do Oeste do Paraná.
- CARNEIRO, L. J.; COSTA, M. S. S. DE M.; COSTA, L. A. DE M.; MARTINS, M. F. L.; ROZATTI, M. A. T. Perda de nutrientes na compostagem de resíduos agroindustriais. **Engenharia Agrícola**. Jaboticabal. v. 33, n. 4, julho-agosto de 2013.
- CARNEIRO, L. J.; DIETER, J.; SAMPAIO, S. C.; SCHMIDT JR, N.; SANTOS-KOELLN, F. T. Balanço de sais provenientes da aplicação de água residuária da suinocultura em quatro ciclos de cultura. **Revista Meio Ambiente e Agronegócio**. v. 4, n. 3, p. 481-499, 2011.
- CAYUELA, M. L.; SANCHEZ-MONEDERO, M. A.; ROIG, A. Evaluation of two different aeration systems for composting two-phase olive mill wastes. **Process Biochemistry**. v. 41, p. 616-623, 2006.
- CHAN, M. T.; SELVAM, A.; WONG, J. W. C. Reducing nitrogen loss and salinity during 'struvite' food waste composting by zeolite amendment. **Bioresource Technology**. v. 200, p. 838–844, 2016.
- CEKMECELIOGLU, D.; DEMERCI, A.; GRAVES, R. E.; DAVITT, N.H. Applicability of optimized in-vessel food waste composting for windrow systems. **Biosystems Engineering**. v. 91, p. 479-486, 2005.
- CHAVES, G. de L. D.; VILAS BOAS, E. B. B.; ESSER, J. V.; ALVES, P.; SHIKIDA, P. F. A. Notas sobre a qualidade da produção leiteira: Um estudo de caso sobre a Coopavel (PR). **Revista de Economia e Agronegócio**, Viçosa-MG, v. 2, n. 1, p. 93-113, 2004.
- CHEN, H.; CHENG, Y. Designing X charts to know autocorrelations and unknown marginal distribution. **European Journal of Operational Research**. v. 198, n. 1, p. 520-529, 2009.
- CIMA, E. G., OPAZO, M. A. U. Sistemas de controle de qualidade: Uma análise da agroindústria avícola. **Rev. FAE**, Curitiba, v. 12, n. 1, p. 121-132, jan./jun., 2009.
- COMPOSTEC, 2016. Disponível em:< <http://www.compostec.com.br/>>. Acesso em: 27 de fev. 2016.
- COSTA, M. S. S. DE M.; COSTA, L. A. DE M.; DECARLI, L. D.; PELÁ, A.; SILVA, C. J.; MATTER, U.; OLIBONE, D. Compostagem de resíduos sólidos de frigorífico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, n. 1, p. 100–107, 2009.
- COSTA, M. S. S. DE M.; COSTA, L. A. DE M.; SESTAK, M.; OLIBONE, D.; SESTAK, D.; KAUFMANN, A. V.; ROTTA, S. R. Compostagem de resíduos da indústria de desfibração de algodão. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 25, n. 2, p. 540-548, 2005.
- EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Embrapa Informação Tecnológica. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. EMBRAPA, 2 ed., 627p., Brasília, 2009.
- FIORI, M. G. S.; SCHOENHALS, M.; FOLLADOR, F. A. C. Análise da evolução tempo-eficiência de duas composições de resíduos agroindustriais no processo de compostagem aeróbica. **Revista Engenharia Ambiental**. Espírito Santo do Pinhal, v. 5, n. 3, p. 178-191, set/dez 2008.
- FRICKE, K.; SANTEN, H.; WALLMANN, R. Comparison of selected aerobic and anaerobic procedures for MSW treatment. **Waste Management**, v. 25, p. 799–810, 2005.

FRIGO, J. P.; VILAS BOAS, M. A.; FRIGO, E. P.; HERMES, E.; TESSARO, E. Irrigação diurna e noturna em um sistema de aspersão convencional em Palotina-PR. **Irriga**, Botucatu, v. 18, n. 2, p. 318-327, abril-junho, 2013.

GAVILANES-TERÁN, I.; JARA-SAMANIEGO, J.; IDROVO-NOVILLO, J.; BUSTAMANTE, M. A.; MORAL, R.; PAREDES, C. Windrow composting horticultural waste management strategy – A case study in Ecuador. **Waste Management**. v. 48, p. 127-134, 2016.

GRAVES, R. E.; HATTEMER, G. M.; STETTLER, D.; KRIDER, J. N.; CHAPMAN, D. **Composting**. In: United States Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service. **Part 637 (??) Environmental Engineering - National Engineering Handbook**. Washington, 2000. 88p.

GUARDIA, A.; PETIOT, C.; ROGEAU, D. Influence of aeration rate and biodegradability fractionation on composting kinetics. **Waste Management**. v. 28, p. 73-84, 2008.

GUARDIA, A.; MALLARD, P.; TEGLIA, C.; MARIN, A.; LE PAPE, C.; LAUNAY, M.; BENOIST, J. C.; PETIOT, C. Comparison of five organic wastes regarding their behavior during composting: Part 2, nitrogen dynamic. **Waste Management**. v. 30, p. 415-425, 2010.

HAROUN, M.; IDRIS, A.; OMAR, S. R. S. A study of heavy metals and their fate in the composting of tannery sludge. **Waste Management**. v. 27, p. 1541–1550, 2007.

HARSTELN, E. R.; AMARAL FILHO, R. J.; WERNER, L. Análise de capacidade de dados não normais de um sistema de tratamento de efluente industrial. **INGEPRO – Inovação, gestão e produção**. v. 2, n. 11, p. 13-25, 2010.

HERMES, E., VILAS BOAS; M. A., GOMES; S. D., GOMES, B. M.; REIS, C. F. Quality control in irrigation and fertigation with cassava processing wastewater into drip system. **Journal of Food, Agriculture & Environment**. v. 11, n. 2, p. 841-845, 2013.

HERNÁNDEZ, R. H. **Controle estatístico de processo aplicado na uniformidade de irrigação e fertirrigação por gotejamento**. Cascavel, 2010. 96 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade Estadual do Oeste do Paraná.

IACONO, M. A. **Usinas de triagem e compostagem financiadas pela FUNASA no Estado do Rio de Janeiro – Uma análise crítica**. Rio de Janeiro, 2007. 91 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Centro de Tecnologia e Ciências Faculdade de Engenharia – Departamento de Engenharia Sanitária e do Meio Ambiente, Universidade do Estado do Rio de Janeiro.

IGLESIAS-JIMÉNEZ, E.; PÉREZ-GARCÍA, V. Determination of maturity indices for city refuse composts. **Agriculture, Ecosystems and Environment**. v. 38, p. 331-343, 1992.

JONES, T. A. Skewness and kurtosis as criteria of normality in observed frequency distributions. **Journal Sedimentary Petrology**, Colorado, p. 1622-1627, 1969.

JUSTI, A. L.; VILAS BOAS, M. A.; SAMPAIO, S. C. Índice de capacidade do processo na avaliação de irrigação por aspersão. **Eng. Agríc.**, Jaboticabal, v. 30, n. 2, p. 264-270, mar./abr., 2010.

KADER, N. A.; ROBIN, P.; PAILLAT, J. M.; LETERME, P. Turning, compacting and the addition of water as factors affecting gaseous emissions in farm manure composting. **Bioresource Technology**. v. 98, p. 2619-2628, 2007.

- KANG, J.; ZHANG, Z.; WANG, J. J. Influence of humic substances on bioavailability of Cu and Zn during sewage sludge composting. **Bioresource Technology**. v. 102, p. 8022-8026, 2011.
- KIEHL, E. J. **Novos fertilizantes orgânicos**. 1 ed. Piracicaba: Agronômica Ceres, 2010. 238 p.
- LEIRAS, A.; COSTA, A. F. B.; EPPRECHT, E. K. Planejamento do controle estatístico de processos com baixa fração não conforme restrito a amostras pequenas. **Produção**. v. 17, n. 1, p. 139-150, 2007.
- LI, X.; ZHANG, R.; PANG, Y. Characteristics of dairy manure composting with rice straw. **Bioresource Technology**. v. 99, p. 359-367, 2008.
- LIANG, Y.; LEONARD, J. J.; FEDDES, J. J. R.; MCGILL, W. B. Influence of carbon and buffer amendment on ammonia volatilization in composting. **Bioresource Technology**, v. 97, p. 748-761, 2006.
- LOUREIRO, D. C.; AQUINO, A. M.; ZONTA, E.; LIMA, E. Compostagem e vermicompostagem de resíduos domiciliares com esterco bovino para a produção de insumo orgânico. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v. 42, n. 7, p. 1043-1048, jul. 2007.
- MAGALHÃES, M. A. DE MATOS; A. T. DE; WILSON DENÍCULI, W & TINOCO, I. F. F. Compostagem de bagaço de cana-de-açúcar triturado utilizado como material filtrante de águas residuárias da suinocultura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10, n. 2, p. 466-471, 2006.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: Associação Brasileira para pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1989.
- MATOS, A. T. **Tratamento e aproveitamento agrícola de resíduos sólidos**. Associação de Engenheiros Agrícolas de Minas Gerais. Departamento de Engenharia Agrícola da UFV. (Série Caderno Didático nº 37). Viçosa, 2006. 119 p.
- MEISSL, K., SMIDT, E. High quality composts from anaerobic digestion residues. **Biocycle**, v. 48, p. 55-58, 2007.
- MEES, J. B. R.; GOMES, S. D.; VILAS BOAS, M. A.; GOMES, B. M.; PASSIG, F. H. Kinetic behavior of nitrification in the post-treatment of poultry wastewater in a sequential batch reactor. **Eng. Agric.**, Jaboticabal, v. 31, n. 5, p. 954-964, set./out., 2011.
- MELO, L. C. A.; SILVA, C. A.; DIAS, B. O. Caracterização da matriz orgânica de resíduos de origens diversificadas. **Rev. Bras. Ci. Solo**. v. 32, p. 101-110, 2008.
- MICHEL, R., FOGLIATTO, F. S. Projeto econômico de cartas adaptativas para controle de processos. **Gestão e Produção**. v. 9, n. 1, p. 17-31, 2002.
- MINITAB. **Minitab for Windows - version 16.0**. PA, USA: State College: Programa estatístico.
- MONTGOMERY, D. C. **Introdução ao Controle Estatístico da Qualidade**. Editora: Livros Técnicos e Científicos - LTC, 4 ed., Rio de Janeiro, 2012.
- NEKLYUDOV, A. D.; FEDOTOV, G. N.; IVANKIN, A. N. Aerobic processing of organic waste into composts. **Appl. Biochem. Microbiol.** v. 42, p. 341-353, 2006.

- OGUNWANDE, G. A.; OSUNADE, J. A. Passive aeration composting of chicken litter: Effects of aeration pipe orientation and perforation size on losses of compost elements. **Journal of Environmental Management**. v. 92, p. 85-91, 2011.
- ORRICO, A. C. A.; LUCAS JÚNIOR, J.; ORRICO JÚNIOR, M. A. P. Alterações físicas e microbiológicas durante a compostagem dos dejetos de cabras. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, n. 3, p. 764-772, 2007.
- ORRICO JÚNIOR, M. A. P.; ORRICO, A. C. A.; LUCAS JÚNIOR, J. DE. Compostagem da fração sólida da água residuária de suinocultura. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 29, n. 3, p. 483-491, jul./set., 2009.
- ORRICO JÚNIOR, M. A. P.; ORRICO, A. C. A.; LUCAS JÚNIOR, J. DE. Compostagem dos resíduos da produção avícola: cama de frangos e carcaças de aves. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 30, n. 3, p. 538-545, maio/jun., 2010.
- ORSSATTO, F.; VILAS BOAS, M.; EYNG, E. Gráfico da média móvel exponencialmente ponderada: aplicação na operação e monitoramento de uma estação de tratamento de esgoto. **Engenharia Sanitária e Ambiental**. v. 20, n. 4, p. 543-550, out./dez., 20015.
- PAGANS, E.; BARRENA, R.; FONT, X.; SÁNCHEZ, A. Ammonia emissions from the composting of different organic wastes. Dependency on process temperature. **Chemosphere**, v. 62, p. 1534-1542, 2006.
- PAILLAT, J. M.; ROBIN, P.; HASSOUNA, M.; LETERME, P. Predicting ammonia and carbon dioxide emissions from carbon and nitrogen biodegradability during animal waste composting. **Atmos. Environ.** v. 39, p. 6833-6842, 2005.
- PAIVA, E. C. R.; MATOS, A. T.; SARMENTO, A. P.; PAULA, H. M.; JUSTINO, E. A. Avaliação de sistema de tratamento de carcaças de frangos pelo método da composteira windrow. **Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, v. 1, p. 19-27, 2012.
- PETRIC, I.; SESTAN, A.; SESTAN, I. Influence of wheat straw addition on composting of poultry manure. **Process Safety and Environmental Protection**. v. 87, p. 206-212, 2009.
- RICHARDS, L. A. Diagnosis and Improvement of Saline and Alkaline Soils. **United States Salinity Lab Agricultural Handbook**, n. 60, 1954.
- RODRIGUES, M. S. **Resíduos orgânicos como material-prima para compostagem**. In: I SICOM - Simpósio sobre Compostagem. Botucatu (SP). Universidade Estadual Paulista. p. 1-27, 2004.
- SHEN, Y.; REN, L.; LI, G.; CHEN, T.; GUO, R. Influence of aeration on CH₄, N₂O and NH₃ emissions during aerobic composting of a chicken manure and high C/N waste mixture. **Waste Management**. v. 31, p. 33-38, 2011.
- SILVA, F. C.; BERTON, R. S.; CHITOLINA, J. C.; BALLESTERO, S. D. **Recomendações Técnicas para o Uso Agrícola do Composto de Lixo Urbano no Estado de São Paulo**. Circular Técnica 3. Campinas: Embrapa. p. 17, 2002.
- SILVA, L. N. da. **Processo de compostagem com diferentes porcentagens de resíduos agroindustriais**. Cascavel, 2007. 59 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade Estadual do Oeste do Paraná.
- SUSZEK, M.; SAMPAIO, S. C.; SUSZEK, F. L.; MALLMANN, L. S. Aspectos físicos e químicos de vermicompostos produzidos a partir de esterco bovino e compostos de resíduos

verdes urbanos. **Engenharia na Agricultura**. Viçosa, MG. v. 15, n. 1, p. 39-44, Jan./Mar., 2007.

TANG, J. C.; SHIBATA, A.; ZHOU, Q.; KATAYAMA, A. Effect of temperature on reaction rate and microbial community in composting of cattle manure with rice straw. **Journal of Bioscience and Bioengineering**. v. 104, n. 4, p. 312-328, 2007.

TÀTANO, F.; PAGLIARO, G.; DI GIOVANNI, P.; FLORIANI, E.; MANGANI, F. Biowaste home composting: Experimental process monitoring and quality control. **Waste Management**. V. 38, p. 72-85, 2015.

TAVARES, M. H. F.; CARDOSO, Décio Lopes; GENTELINI, D. P. Uso do forno de micro-ondas na determinação da umidade em diferentes tipos de solo. **Semina. Ciências Agrárias** (Impresso). v. 29, p. 529-538, 2008.

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H.; WOLKWEISS, S. J. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2ª ed., Porto alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174p.

TESSARO, E. **Efeito da carga hidráulica na uniformidade de irrigação e fertirrigação em um sistema de gotejamento**. Cascavel, 2010. 80 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade Estadual do Oeste do Paraná.

VALENTE, B. S.; XAVIER, E. G.; MORSELI, T. B. G. A.; JAHNKE, D. S.; BRUM JR, B. DE S.; CABRERA, B. R.; MORAES, P. DE O.; LOPES, D. C. N. Fatores que afetam o desenvolvimento da compostagem de resíduos orgânicos. **Arch. Zootec**. v. 58, p. 59-85, 2009.

VILAS BOAS, Érika Bastos Buttenmüller. **Estudo da qualidade da matéria-prima de uma fábrica de ração para frangos de corte utilizando cartas de controle e técnicas Taguchi de custo mínimo** - 2005. 169 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Regional e Agronegócio) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Toledo.

ANEXOS

A1 – Exemplo de planilha de monitoramento utilizada na empresa

LEIRA Nº 29 Data Inicial 13/10/14 Data Final 15/10/14 Or 57

MONTAGEM DE LEIRA

DATA	MATERIAL	TN
/ /	GALHO Int.	15,1
/ /	RINZA	4,8
/ /	PACOTE	3,6
/ /	Lodo	8,4
/ /	GORDURA	9,7
/ /	CAMA SICCIA	6,2
/ /	DECANTADOR	5,6
/ /	INCLINATORIO	18,3
/ /	RESTAURANTE	9,7
/ /	FLOTADOR	136,2
/ /	P. MADEIRA	23,9
/ /	ALGODAO	6,8
/ /	HUMIDIF	2,2
/ /	GRESSO	4,7
/ /		20,05
TOTAL		252,800

342,00

OBS: 15/10/14 chuva 23mm, 21/10 chuva 48mm
 20/02/15 FOR 10 dias com +
 30 toneladas de leira Nº 12,
 para APIDATAR processo de exatidão
 e posterior monitoramento
 OBS: 8... 2... 1...
 Monitoramento
 268,00

Controle de Leira - MOVIMENTAÇÃO Data: <u>20/10/14</u> Temperatura: <u>74°C</u> Umidade R <input type="checkbox"/> - Água <input type="checkbox"/> - Leite <input type="checkbox"/> - Chorume <input checked="" type="checkbox"/> - Seco <input type="checkbox"/> - Decantador <input type="checkbox"/> - Chuva	Controle de Leira - MOVIMENTAÇÃO Data: <u>21/10/14</u> Temperatura: <u>72°C</u> Umidade R <input type="checkbox"/> - Água <input type="checkbox"/> - Leite <input type="checkbox"/> - Chorume <input checked="" type="checkbox"/> - Seco <input type="checkbox"/> - Decantador <input type="checkbox"/> - Chuva	Controle de Leira - MOVIMENTAÇÃO Data: <u>20/10/14</u> Temperatura: <u>70°C</u> Umidade R <input type="checkbox"/> - Água <input type="checkbox"/> - Leite <input checked="" type="checkbox"/> - Chorume <input type="checkbox"/> - Seco <input type="checkbox"/> - Decantador <input type="checkbox"/> - Chuva
Controle de Leira - MOVIMENTAÇÃO Data: <u>03/11/14</u> Temperatura: <u>66°C</u> Umidade R <input type="checkbox"/> - Água <input type="checkbox"/> - Leite <input type="checkbox"/> - Chorume <input checked="" type="checkbox"/> - Seco <input type="checkbox"/> - Decantador <input type="checkbox"/> - Chuva	Controle de Leira - MOVIMENTAÇÃO Data: <u>09/11/14</u> Temperatura: <u>70°C</u> Umidade R <input type="checkbox"/> - Água <input type="checkbox"/> - Leite <input checked="" type="checkbox"/> - Chorume <input type="checkbox"/> - Seco <input type="checkbox"/> - Decantador <input type="checkbox"/> - Chuva	Controle de Leira - MOVIMENTAÇÃO Data: <u>13/11/14</u> Temperatura: <u>66°C</u> Umidade R <input type="checkbox"/> - Água <input type="checkbox"/> - Leite <input type="checkbox"/> - Chorume <input checked="" type="checkbox"/> - Seco <input type="checkbox"/> - Decantador <input checked="" type="checkbox"/> - Chuva
Controle de Leira - MOVIMENTAÇÃO Data: <u>18/11/14</u> Temperatura: <u>62°C</u> Umidade R <input type="checkbox"/> - Água <input type="checkbox"/> - Leite <input type="checkbox"/> - Chorume <input checked="" type="checkbox"/> - Seco <input type="checkbox"/> - Decantador <input type="checkbox"/> - Chuva	Controle de Leira - MOVIMENTAÇÃO Data: <u>25/11/14</u> Temperatura: <u>60°C</u> Umidade R <input type="checkbox"/> - Água <input type="checkbox"/> - Leite <input type="checkbox"/> - Chorume <input checked="" type="checkbox"/> - Seco <input type="checkbox"/> - Decantador <input checked="" type="checkbox"/> - Chuva	Controle de Leira - MOVIMENTAÇÃO Data: <u>29/11/14</u> Temperatura: <u>40°C</u> Umidade R <input type="checkbox"/> - Água <input type="checkbox"/> - Leite <input type="checkbox"/> - Chorume <input checked="" type="checkbox"/> - Seco <input type="checkbox"/> - Decantador <input type="checkbox"/> - Chuva
Controle de Leira - MOVIMENTAÇÃO Data: <u>05/12/14</u> Temperatura: <u>56°C</u> Umidade R <input type="checkbox"/> - Água <input type="checkbox"/> - Leite <input type="checkbox"/> - Chorume <input checked="" type="checkbox"/> - Seco <input type="checkbox"/> - Decantador <input type="checkbox"/> - Chuva	Controle de Leira - MOVIMENTAÇÃO Data: <u>12/12/14</u> Temperatura: Umidade R <input type="checkbox"/> - Água <input type="checkbox"/> - Leite <input type="checkbox"/> - Chorume <input checked="" type="checkbox"/> - Seco <input type="checkbox"/> - Decantador <input type="checkbox"/> - Chuva	Controle de Leira - MOVIMENTAÇÃO Data: <u>18/12/14</u> Temperatura: Umidade R <input type="checkbox"/> - Água <input type="checkbox"/> - Leite <input type="checkbox"/> - Chorume <input type="checkbox"/> - Seco <input type="checkbox"/> - Decantador <input type="checkbox"/> - Chuva
Controle de Leira - MOVIMENTAÇÃO Data: <u>23/12/14</u> Temperatura: Umidade R <input type="checkbox"/> - Água <input type="checkbox"/> - Leite <input type="checkbox"/> - Chorume <input type="checkbox"/> - Seco <input type="checkbox"/> - Decantador <input type="checkbox"/> - Chuva	Controle de Leira - MOVIMENTAÇÃO Data: <u>27/12/14</u> Temperatura: Umidade R <input type="checkbox"/> - Água <input type="checkbox"/> - Leite <input type="checkbox"/> - Chorume <input checked="" type="checkbox"/> - Seco <input type="checkbox"/> - Decantador <input type="checkbox"/> - Chuva	Controle de Leira - MOVIMENTAÇÃO Data: <u>02/01/15</u> Temperatura: Umidade R <input type="checkbox"/> - Água <input type="checkbox"/> - Leite <input type="checkbox"/> - Chorume <input checked="" type="checkbox"/> - Seco <input type="checkbox"/> - Decantador <input type="checkbox"/> - Chuva
Controle de Leira - MOVIMENTAÇÃO Data: <u>08/01/15</u> Temperatura: Umidade R <input type="checkbox"/> - Água <input type="checkbox"/> - Leite <input type="checkbox"/> - Chorume <input checked="" type="checkbox"/> - Seco <input type="checkbox"/> - Decantador <input type="checkbox"/> - Chuva	Controle de Leira - MOVIMENTAÇÃO Data: <u>16/01/15</u> Temperatura: <u>30°C</u> Umidade R <input checked="" type="checkbox"/> - Água <input type="checkbox"/> - Leite <input type="checkbox"/> - Chorume <input type="checkbox"/> - Seco <input type="checkbox"/> - Decantador <input type="checkbox"/> - Chuva	Controle de Leira - MOVIMENTAÇÃO Data: <u>24/01/15</u> Temperatura: Umidade R <input type="checkbox"/> - Água <input type="checkbox"/> - Leite <input type="checkbox"/> - Chorume <input checked="" type="checkbox"/> - Seco <input type="checkbox"/> - Decantador <input type="checkbox"/> - Chuva
Controle de Leira - MOVIMENTAÇÃO Data: <u>26/01/15</u> Temperatura: Umidade R <input type="checkbox"/> - Água <input type="checkbox"/> - Leite <input type="checkbox"/> - Chorume <input checked="" type="checkbox"/> - Seco <input type="checkbox"/> - Decantador <input type="checkbox"/> - Chuva	Controle de Leira - MOVIMENTAÇÃO Data: <u>27/02/15</u> Temperatura: Umidade R <input checked="" type="checkbox"/> - Água <input type="checkbox"/> - Leite <input type="checkbox"/> - Chorume <input type="checkbox"/> - Seco <input type="checkbox"/> - Decantador <input type="checkbox"/> - Chuva	Controle de Leira - MOVIMENTAÇÃO Data: <u>12/02/15</u> Temperatura: <u>7°C</u> Umidade R <input type="checkbox"/> - Água <input type="checkbox"/> - Leite <input type="checkbox"/> - Chorume <input checked="" type="checkbox"/> - Seco <input type="checkbox"/> - Decantador <input type="checkbox"/> - Chuva