



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO

**DINÂMICA DO NITROGÊNIO E POTÁSSIO NOS RESÍDUOS CULTURAIS DE
MILHO SUBMETIDO À ADUBAÇÃO MINERAL**

LÉA CRISTINA DE MEDEIROS

AREIA, PB

FEVEREIRO – 2016

LÉA CRISTINA DE MEDEIROS

**DINÂMICA DO NITROGÊNIO E POTÁSSIO NOS RESÍDUOS CULTURAIS DO
MILHO SUBMETIDO À ADUBAÇÃO MINERAL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Universidade Federal da Paraíba, como parte dos requisitos para a obtenção do título de “Mestre em Ciência do Solo”.
Área de concentração: Solos em agroecossistemas familiares.

Orientador: Adailson Pereira de Souza

AREIA, PB

FEVEREIRO – 2016

Ficha Catalográfica Elaborada na Seção de Processos Técnicos da
Biblioteca Setorial do CCA, UFPB, Campus II, Areia – PB.

M488d Medeiros, Léa Cristina de.

Dinâmica do nitrogênio e potássio nos resíduos culturais do milho submetido à adubação mineral / Léa Cristina de Medeiros - Areia: UFPB/CCA, 2016.

32 f. : il.

Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Centro de Ciências Agrárias.
Universidade Federal da Paraíba, Areia, 2016.

Bibliografia.

Orientador: Adailson Pereira de Souza.

1. Adubação mineral – Resíduos do milho 2. Solo – Decomposição de resíduos 3.
Zea mays – Adubação nitrogenada I. Medeiros, Léa Cristina de (Orientador) II. Título.

UFPB/CCA

CDU: 631.811:633.15(043.3)

LÉA CRISTINA DE MEDEIROS

DINÂMICA DO NITROGÊNIO E POTÁSSIO NOS RESÍDUOS CULTURAIS DO
MILHO SUBMETIDO À ADUBAÇÃO MINERAL

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Universidade Federal da Paraíba, como parte dos requisitos para a obtenção do título de “Mestre em Ciência do Solo”.
Área de concentração: Solos em agroecossistemas familiares.

Aprovada em 17/02/2016

BANCA EXAMINADORA

Prof. Adailson Pereira de Souza
DSER/CCA/UFPB

Orientador

Prof. Djail Santos
DSER/CCA/UFPB

Examinador

Prof^ª. Jussara Silva Dantas
UACTA/CCTA/UFCG

Examinadora

Prof^ª. Silvânia Maria de Souza Gomes Nascimento
DA/CCHSA/UFPB

Examinadora

A minha mãe

MARLUCE MEDEIROS (in memoriam)

Pelos ensinamentos enquanto estive aqui, por ser minha inspiração e por ter cuidado de tudo lá do céu;

A minha avó e aos meus tios

MARIA DA GUIA MEDEIROS, BEETHOVEM JOSÉ DE MEDEIROS, BETÂNIA MEDEIROS DO NASCIMENTO e FABIANO CÉSAR DE MEDEIROS

Por entender minhas dificuldades, pelas orações, força e incentivo;

A meu pai e as minhas irmãs

GILVANDRO JOSÉ DE AZEVEDO MEDEIROS, LAISE CARLA DE MEDEIROS, LÍVIA MEDEIROS e MARIA HELOÍSA MEDEIROS

Pelo amor;

Ao meu noivo

JOHNATHAN NASCIMENTO BESSA DE LIMA

Pelo amor, companheirismo, apoio e carinho;

A semente de amor que Deus me presenteou

LARA MARIA DE MEDEIROS BESSA

Por ter me tornado ainda mais forte e corajosa.

DEDICO.

A DEUS, pai, amigo e companheiro, pois tudo posso nele que me fortalece;

A toda minha família, pelo amor, incentivo e apoio;

Ao meu orientador, Prof. Adailson Pereira de Souza, por dividir seu conhecimento e sabedoria e
por sua infinita paciência;

Aos amigos que se tornaram irmãos, Carla Rafaela, Djalma Júnior, Tarcísio Freitas e Wellington
Miguel, pela irmandade, pelo ombro amigo e pelos momentos únicos de felicidade;

As colegas de apartamento, Alinne Menezes e Anne Katherine pelo acolhimento e
companheirismo.

A colega de curso Begna Janine, pelo apoio e ajuda no início do curso;

Aos colegas de curso e aos professores com os quais tive o privilégio de conviver e estudar;

Aos colegas de orientação e laboratório, Bruno, Caíque, Ewerton, Helton, João, José, Mary
Anne, Renan, Rielder e Roberto, por muitas horas de trabalho em campo e laboratório, sob sol e
chuva, sempre acompanhadas de boas conversas;

A Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES, pela bolsa
oferecida para a realização desta pesquisa;

A todos que fizeram parte desta obra de forma direta e indireta.

MINHA ETERNA GRATIDÃO.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	v
LISTAS DE FIGURAS	vi
RESUMO	vii
ABSTRACT	viii
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
2.1. Decomposição dos resíduos culturais no solo	3
2.2. Efeitos de resíduos culturais no solo	4
2.2.1 Modelos de cinética de decomposição de resíduos orgânicos	5
2.2.2 Tempo meia vida	6
3. MATERIAL E MÉTODOS	7
3.1. Localização do Experimento	7
3.2. Delineamento Experimental	8
3.3. Instalação, condução e colheita do experimento	9
3.4. Colheita e determinação da biomassa	10
3.5. Amostragem do solo das parcelas	10
3.6. Confeção, instalação e coleta das sacolas (<i>Litter bags</i>)	10
3.7. Decomposição dos resíduos	11
3.8. Análises estatísticas	11
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	12
4.1. Produção de biomassa	12
4.2. Decomposição de resíduos	14
5. CONCLUSÕES	22
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	23
APÊNDICE	27
ANEXOS	29

LISTA DE TABELAS

- TABELA 1. Características químicas do solo, na camada de 0 a 20 cm antes da instalação da série de experimentos. (Ano 2013) 8
- TABELA 2. Constante de decomposição (k) e tempo de meia vida ($t_{1/2}$) do resíduo do milho submetido à adubação nitrogenada e potássica 14

APÊNDICE

- TABELA 1A. Dados de precipitação (mm) acumulada mensal nos anos de 2014 e 2015 e temperatura média mensal no ano de 2015 no município de Areia PB (INMET, 2016)..... 28

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. Localização geográfica da área experimental	7
FIGURA 2. Precipitação (mm) acumulada mensal nos anos de 2014 e 2015 e temperatura média mensal no ano de 2015 no município de Areia-PB	8
FIGURA 3. Combinação das doses (kg ha ⁻¹) de N e K (K ₂ O) segundo a matriz Plan Puebla III e representação esquemática da área experimental com a distribuição dos tratamentos e das sacolas de decomposição dentro das parcelas	9
FIGURA 4. Produtividade da biomassa do milho no ano de 2014, em resposta a adubação nitrogenada (5; 30; 50; 70 e 95 kg ha ⁻¹) e potássica (4; 24; 40; 56 e 76 kg ha ⁻¹)	13
FIGURA 5. Decomposição da biomassa residual do milho aos 30, 60 e 90 dias em solo submetido a adubação nitrogenada (5; 30; 50; 70 e 95 kg ha ⁻¹) e potássica (4; 24; 40; 56 e 76 kg ha ⁻¹)	16
FIGURA 6. Teor de nitrogênio, potássio, carbono orgânico e relação C/N da palha de milho em diferentes épocas de incorporação no solo (0, 30, 60, 90, 120 e 150 dias) após adubação nitrogenada (5, 30, 50, 70 e 95 kg ha ⁻¹)	18
FIGURA 7. Teor de nitrogênio, potássio, carbono orgânico e relação C/N da palha de milho em diferentes épocas de incorporação no solo (0, 30, 60, 90, 120 e 150 dias) após adubação potássica (4, 24, 40, 56 e 76 kg ha ⁻¹)	19
FIGURA 8. Variação dos teores de fósforo (P), potássio (K), sódio (Na), carbono orgânico (CO) e pH do solo após a colheita do milho (Ano 2014)	21

Anexos

FIGURA 1A. Adubação do milho	30
FIGURA 2A. Plantas de milho	30
FIGURA 3A. Bolsa com resíduo antes da incorporação	30
FIGURA 4A. Incorporação a 5 cm	30
FIGURA 5A. Coleta de bolsas aos 90 dias	30
FIGURA 6A. Pré-limpeza das bolsas em laboratório	30
FIGURA 7A. Lavagem dos resíduos	31

RESUMO

MEDEIROS, LÉA CRISTINA DE. **Dinâmica do nitrogênio e potássio nos resíduos culturais de milho submetido à adubação mineral.** Areia – PB, Centro de Ciências Agrárias, UFPB, fevereiro de 2016, 42 p. il. Dissertação. Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo. Orientador: Prof. Adailson Pereira de Souza.

Ao final do cultivo, o agricultor tem a sua disposição expressiva em quantidade de resíduos culturais, não raros, chegando a um volume duas ou três vezes maior que o produto de interesse econômico (grão, fruto, fibra etc.). Objetivou-se avaliar a velocidade de decomposição e liberação de N e K de resíduos da cultura do milho (*Zea mays*) submetido à adubação nitrogenada e potássica em um Latolosso Vermelho Amarelo. Os experimentos de adubação e de cinética de decomposição foram conduzidos nos anos de 2014 e 2015, respectivamente, na área experimental Chã-de-Jardim pertencente ao CCA/UFPB, no município de Areia-PB. O experimento de adubação foi montado seguindo um delineamento experimental em blocos casualizados, com 11 tratamentos e 5 repetições, os quais foram dispostos utilizando-se a matriz exponencial Plan Puebla III, onde se definiram as doses para N (5; 30; 50; 70 e 95 kg há⁻¹) na forma de uréia, e para K (4; 24; 40; 56 e 76 kg há⁻¹) na forma de KCl, acrescido de uma testemunha absoluta (sem adubação) totalizando onze tratamentos. Foram utilizadas bolsas de decomposição (*litter bags*), as quais foram instaladas contendo resíduos agrícolas de milho (caule, folha, palhada). A cada intervalo de 30 dias após a instalação, foi realizada a amostragem de uma bolsa por parcela, totalizando 5 amostragens (30, 60, 90, 120, 150 dias). Tanto para a análise de variância quanto para a estimativa dos parâmetros da equação exponencial, foi utilizado o pacote estatístico SAEG versão 9.1. A produtividade da biomassa do milho em resposta a adubação nitrogenada (N) e potássica (K) no ano de 2014 apresentou efeito significativo nos diferentes compartimentos da planta. Houve redução de 30,5 % da biomassa do resíduo de milho, após 30 dias de incorporação ao solo. O estado nutricional da planta refletiu na velocidade de decomposição de seus resíduos no solo.

Palavras-chave: produtividade, *litter bags*, decomposição, *Zea mays*.

ABSTRACT

MEDEIROS, LÉA CRISTINA DE. Dynamics of nitrogen and potassium in crop residues of corn submitted to mineral fertilizer. Areia – PB, Centro de Ciências Agrárias, UFPB, February 2016, 42 p. il. Dissertation. Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo. Advisor: Prof. Adailson Pereira de Souza.

At the end of cultivation, the farmer has an expressive provision in the amount of crop residues, not rare, reaching a volume two to three times greater than the product of economic interest (grain, fruit, fiber, etc). The objective was to evaluate the rate of decomposition and release of N and K residues of maize (*Zea mays*) submitted to nitrogen and potassium fertilization on a Red Yellow Latossolo. The experiments of fertilization and decomposition kinetics were conducted in the years 2014 and 2015, respectively, in Chã-de-Jardim experimental area belonging to the CCA / UFPB in Areia-PB. The fertilization experiment was conducted following a randomized complete block design with 11 treatments and 5 repetitions, which were prepared using the exponential matrix Plan Puebla III, where he defined N doses (5; 30; 50; 70 and 95 kg ha⁻¹) in the form of urea, and K (4, 24, 40, 56 and 76 kg ha⁻¹) as KCl, plus an absolute control (without fertilizer) summing eleven treatments. Decomposition bags were used (litter bags), were installed containing agricultural waste corn (stem, leaf, and straw). Each interval of 30 days after installation, was carried out sampling a bag per plot, totaling 5 samples (30, 60, 90, 120, 150 days). Both the analysis of variance as to estimate the parameters of the exponential equation, we used the statistical package SAEG version 9.1. The productivity of the biomass of the corn response to nitrogen fertilizer (N) and potassium (K) in 2014 had a significant effect on different compartments of the plant. A reduction of 30.5% corn biomass residue, after 30 days of the soil incorporated. The nutritional status of the plant reflected in the rate of decomposition of waste materials in the soil.

Key words: productivity, litter bags, decomposition, *Zea mays*.

1. INTRODUÇÃO

Sendo os fertilizantes industriais nitrogenados diretamente dependentes do petróleo, e os demais fertilizantes, como potássio, dependentes da disponibilidade das jazidas que abastecem o mundo, mas também vinculados aos custos do petróleo para a logística de sua distribuição, não é difícil perceber que diante do novo quadro econômico mundial, estabelecido com as recentes crises, por certo influenciará para que também sejam alteradas as práticas de adubação mineral.

Esse aspecto econômico justifica plenamente os esforços na adoção de um manejo ideal de adubação mineral sendo importante sua otimização, minimizando tanto os excessos, que prejudicam a qualidade ambiental e oneram o produtor quanto aos déficits, que comprometem o rendimento projetado. Entretanto, além do aspecto econômico ambiental, um adequado manejo é de extrema importância para a conservação da qualidade do solo.

A reposição da matéria orgânica no solo é uma ótima opção para melhorar a qualidade dos solos, principalmente aqueles submetidos a intenso cultivo. Sendo assim, o uso de resíduos culturais agrícolas, como palhada, entre outros restos culturais, pode contribuir para a viabilidade econômica e sustentabilidade de vários sistemas de produção, amortizando custos operacionais e aumentando a renda líquida, tornando a agricultura mais sustentável. Além disso, a permanência de resíduos vegetais no solo compõe uma importante forma de retardar os efeitos da erosão, o que resulta na melhoria das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, com reflexo direto na sua qualidade, o que aumenta significativamente a capacidade das culturas em assimilar os nutrientes oriundos da decomposição desses restos vegetais.

O agricultor, ao final do cultivo, tem a sua disposição uma expressiva quantidade de resíduos culturais, não raros, chegando a um volume duas ou três vezes maior que o produto de interesse econômico direto (grão, fruto, fibra etc.). Tais resultados, em maior ou menor escala, são fontes significativas de C, N, K e vários outros nutrientes de grande importância agrônômica. O destino racional desses resíduos, na grande maioria das situações, passa pela sua incorporação ao solo, objetivando não só o retorno ao ambiente edáfico de parte dos nutrientes extraídos pelas culturas, como também do fornecimento e, ou, disponibilização desses mesmos nutrientes para as futuras lavouras, via mineralização. A falta de dados sobre a prática de uma correta utilização dos resíduos e a quantidade a ser aplicada justifica o incentivo a pesquisas que visam o estabelecimento de critérios

tecnicamente adequados, que atendam às necessidades das culturas, da preservação da qualidade do solo, e dos mananciais de água superficial e subterrânea, em áreas de disposição final desses resíduos.

Alguns nutrientes tornam-se disponíveis para as plantas através do processo de decomposição e mineralização da matéria orgânica, a qual regula a disponibilidade de nutrientes, especialmente o nitrogênio, que é requerido em grande quantidade, determinando a taxa de crescimento vegetal. O estudo sobre taxa de decomposição de resíduos orgânicos e a ciclagem de nutrientes é muito importante dado as novas exigências de mercado quanto a sustentabilidade dos sistemas de produção agrícola.

Faz-se necessário, portanto, estudos mais precisos sobre quantidades de resíduos orgânicos a serem adicionados ao solo, pois assim evita-se que esses resíduos sejam manejados de forma incorreta, trazendo, muitas vezes, sérios problemas nos solos, rios etc. O entendimento da dinâmica do N e K mineral para as plantas e informações mais precisas sobre a taxa de mineralização de resíduos orgânicos são importantes, pois passam obrigatoriamente pelo entendimento das diversas relações dos microrganismos do solo com os resíduos de natureza orgânica.

Nesse contexto, o objetivo desta pesquisa foi avaliar a dinâmica do nitrogênio e potássio nos resíduos culturais de milho (*Zea mays*) submetidos a adubação nitrogenada e potássica em um LATOLOSSO AMARELO.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Decomposição dos resíduos culturais no solo

A maioria das culturas gera bastante resíduos vegetais ao fim do seu ciclo. No caso do milho, uma lavoura pode gerar entre 6 e 12 t ha⁻¹ de fitomassa seca (EMBRAPA, 2010). Porém, Souza (2013), avaliando o rendimento de adubos verdes em um consórcio de milho com cotralária, observou que a produção de fitomassa seca do milho pode chegar a 18,7 t ha⁻¹.

Vários estudos têm demonstrado que a incorporação de resíduos vegetais ao solo influencia a atividade microbiana, a mineralização, a imobilização e as formas químicas do N no solo. Bittar et al. (2013), estudando a atividade microbiana de quatro tipos de solos sob resíduo de serapilheira, observaram que a atividade microbiana do solo aumentou com a adição de 1 e 10 % de resíduo de serapilheira, sendo a diferença entre os solos observada com a dose de 10 %.

São diversos os fatores que estão relacionados com a decomposição e liberação de nutrientes dos resíduos, tais como a atuação de macro e microrganismos decompositores, as características químicas do material depositado sobre o solo ou incorporado (TORRES et al., 2005), o manejo (TORRES et al., 2008), pH e nutrientes do solo (TEIXEIRA et al., 2012) e condições climáticas, como temperatura e umidade (PACHECO et al., 2011). Leite et al. (2010) avaliando a decomposição e liberação de nutrientes de resíduos vegetais de vegetação espontânea, braquiária e milho depositados sobre Latossolo Amarelo no Cerrado Maranhense, observou que um período de aproximadamente 60 dias de estiagem, prolongou o processo de decomposição da matéria seca e de liberação de N, P e K dos resíduos.

Os processos envolvidos na decomposição desses resíduos são também dependentes da relação C/N, bem como da quantidade e da qualidade do material adicionado. A cultura do milho tende a apresentar resíduos de alta relação C/N, como observado por Calonego et al. (2012), com valores médios de 46 para a palha do milho, o que o autor considera elevado, pois são valores maiores que 30, considerado valor referência para caracterizar resíduos com elevada relação C/N. Esta característica influencia diretamente na decomposição dos resíduos e pode afetar a disponibilidade de N, dado a imobilização de N pela biomassa microbiana do solo.

No entanto, cabe observar que além da relação C/N, diversos outros aspectos como tamanho das partículas dos resíduos; teores de lignina (ESPÍNDOLA et al., 2006); N e polifenóis; relação lignina/N; relação (lignina + N)/polifenóis (MATOS et al., 2011); presença de elementos tóxicos, bem como as condições químicas e físicas do solo (COSTA, et al., 2004) influenciam no processo de decomposição dos resíduos.

2.2. Efeitos de Resíduos culturais no solo

Em sua grande parte, a matéria orgânica do solo deriva da vegetação e seus resíduos que, em grandes quantidades e manejados de forma correta, exercem ação protetora sobre o solo, além de ser fonte de energia e nutrientes para o sistema, com capacidade de manter a produtividade dos solos em geral. De acordo com Xavier et al. (2006), a ciclagem de nutrientes se torna mais rápida com o fornecimento da matéria orgânica para o crescimento microbiano.

O estoque da matéria orgânica do solo é regulado principalmente pelo aporte dos resíduos orgânicos e pela taxa de decomposição das frações orgânicas (MAIA et al., 2008), sendo a prática de incorporação dos resíduos agrícolas um importante aspecto a ser considerado para o desenvolvimento das culturas (DANTAS et al., 2009). A taxa de mineralização desses resíduos vegetais depende de sua qualidade, temperatura do ambiente, precipitação pluvial, característica de solo e disponibilidade de nutrientes (DINIZ et al., 2014), sendo seu aproveitamento agrícola viável.

Os resíduos das plantas de cobertura, como de outros vegetais, influenciam nas características físicas e químicas do solo, como infiltração e capacidade de retenção de água, porosidade e densidade. Estes efeitos são variados em função da qualidade e quantidade, bem como do manejo dado aos resíduos (DANTAS et al., 2009).

Silva et al. (2010), estudando o aporte de fitomassa pelas sucessões de culturas e sua influência em atributos físicos do solo no sistema plantio direto, concluiu que os sistemas de culturas estudados (girassol, crotalária, ervilhaca peluda, consórcio de crotalária e aveia preta e consórcio de aveia preta, ervilhaca peluda e nabo forrageiro) são eficientes na produção de palha, e capazes de preservar os atributos físicos do solo.

No solo, de maneira geral, a quantidade e a natureza da matéria orgânica influenciam no comportamento de metais pesados (CAMPOS, 2010) e no aumento da CTC e da fertilidade do solo (CAMPOS et al., 2011), além de ser importante também na avaliação da qualidade do solo (CONCEIÇÃO et al., 2005), podendo expressar eficientemente essa qualidade.

No semiárido brasileiro, onde a maior parte da agropecuária se baseia na pequena propriedade, o uso de insumos agrícolas, como adubos inorgânicos torna-se geralmente inviável, em razão da baixa renda dos agricultores. Em virtude de os fertilizantes orgânicos não serem nutricionalmente balanceados, a definição das doses de aplicação de resíduos orgânicos de origem agrícola, com vistas a seu aproveitamento agrícola é de extrema importância. Com isso, o entendimento da ciclagem dos nutrientes, principalmente N e K, é fundamental para o desenvolvimento de uma agricultura sustentável.

2.2.1 Modelos de Cinética de decomposição de resíduos orgânicos

A decomposição de resíduos orgânicos no solo desempenha importante função na parte nutricional das plantas e das comunidades microbianas, na ciclagem de nutrientes e na formação da matéria orgânica do solo. O manejo dos resíduos culturais, em superfície ou incorporado ao solo, resulta em diferentes velocidades de decomposição (TORRES et al., 2005). Segundo Paula (2013), estimativas das frações mineralizadas em resíduos dispostos superficialmente estão mais sujeitas a erros que as obtidas para aqueles incorporados no solo, em razão das diferentes proporções resíduo/solo coletadas durante o período de amostragem do material, o que altera sobremaneira os resultados. Alguns fatores, tais como: a composição dos organismos decompositores (MACHADO et al., 2012), o ambiente, principalmente o microclima do solo (TERROR et al., 2011) e a qualidade dos resíduos acumulados (ACOSTA et al., 2014) influem na decomposição e ainda nas características químicas do meio onde se encontram. A inter-relação destes fatores irá determinar o tempo de permanência dos resíduos adicionados ao solo, bem como a taxa de liberação de nutrientes (BAKKE et al., 2010).

A taxa de decomposição dos resíduos e a liberação de nutrientes são estimadas mediante ajuste a modelos matemáticos que, por sua vez, são utilizados para interpretar a resposta microbiana (CAMARGO et al., 1997; YAGI et al., 2009). Segundo Paula (2013) esses modelos pressupõem que a taxa de mineralização do C e N orgânicos sejam proporcionais à quantidade de substrato mineralizável presente. Vários são os modelos matemáticos usados na literatura. O mais usado é o descrito por Standford e Smith (1972), os quais propuseram um modelo de cinética de primeira ordem ou modelo exponencial simples de crescimento, considerando somente um compartimento de N mineralizável, estimado em experimentos de incubação aeróbia de longa duração, que ocorre em função do tempo. O modelo é explicado pela equação:

$$N_{\text{mac}} = N_0(1 - e^{-kt}), \text{ em que,} \quad (\text{eq. 1})$$

N_{mac} = N mineralizado acumulado;

N_0 = N potencialmente mineralizável;

k = constante da taxa de mineralização e

t = tempo.

Fazendo o ajuste dos modelos de decomposição do material orgânico e seguindo a cinética de reação de primeira ordem, os parâmetros obtidos são o potencial de mineralização e o coeficiente de mineralização, sendo úteis assim, nos cálculos das doses de resíduos orgânicos que serão aplicadas no solo para o atendimento das necessidades das culturas.

2.2.2 Tempo de meia vida

Com a constante de decomposição pode-se calcular o tempo de meia vida ($T_{1/2}$) da liberação de nutrientes ao solo. O $T_{1/2}$ corresponde ao tempo necessário para que a metade da quantidade de cada nutriente seja disponibilizada no solo (PAUL & CLARK, 1996).

O tempo de meia-vida do N mineralizado varia de um resíduo orgânico para outro e apresenta-se dependente do solo onde os materiais orgânicos são incubados (CARNEIRO et al., 2013). Calonego et al. (2012), relata que para o milho o K é o elemento liberado com maior facilidade das palhas, que são mais indicadas para cobertura do solo, pois além de proporcionar proteção do solo por mais tempo também são eficientes na reciclagem de nutrientes.

Através da determinação da decomposição e liberação do N e K é possível aperfeiçoar e aprimorar os procedimentos de recomendação de doses de fertilizantes nitrogenados e potássicos, dentre outros nutrientes presentes nos resíduos culturais agrícolas, conciliando interesses agrônômicos, socioeconômicos e ambientais.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Localização do Experimento

Os experimentos de adubação e de cinética de decomposição foram conduzidos nos anos de 2014 e 2015, respectivamente, na área experimental Chã-de-Jardim pertencente ao Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal da Paraíba, no município de Areia-PB, localizada na microrregião geográfica do Brejo Paraibano (Figura 1).

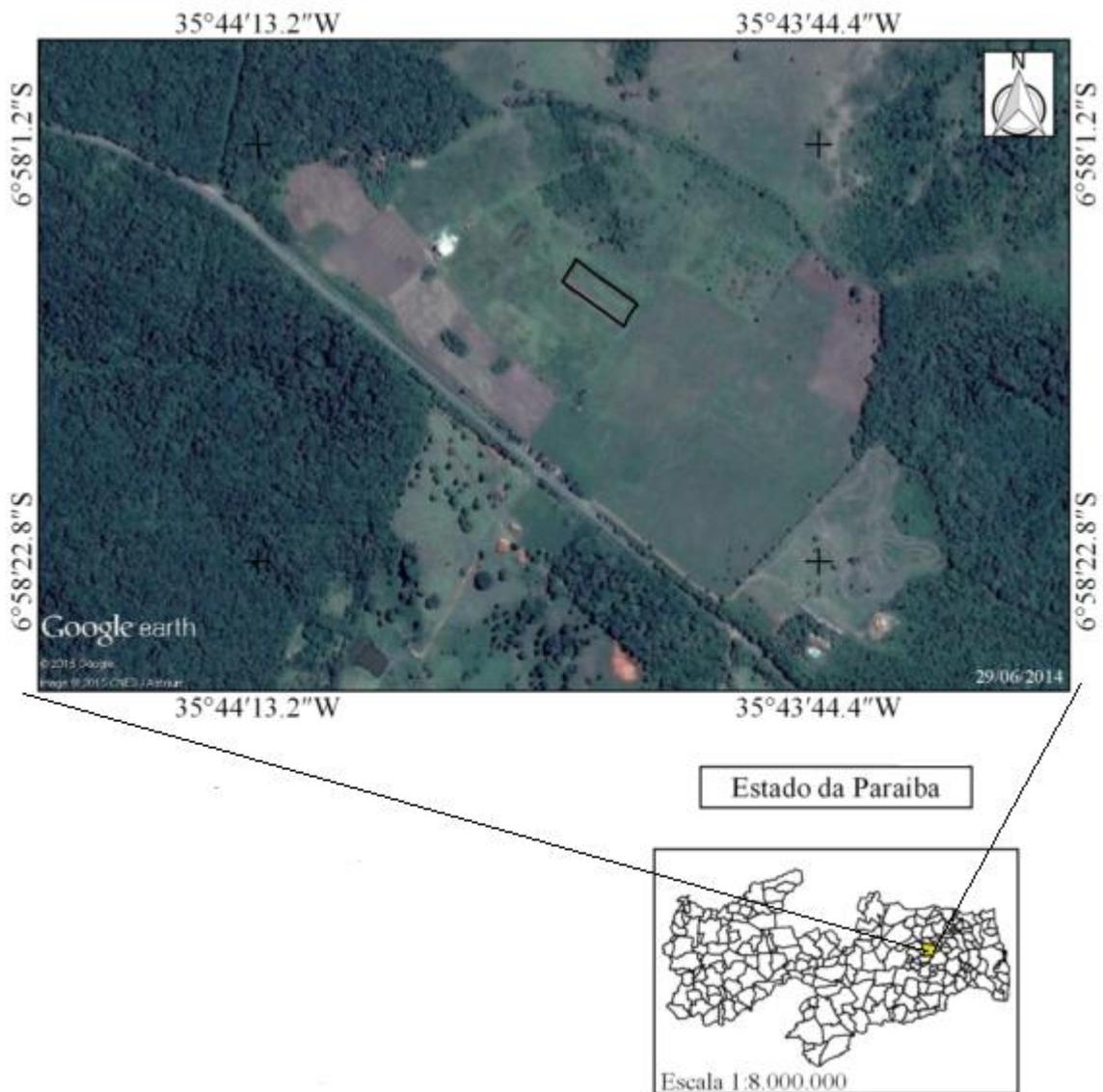


Figura 1. Localização geográfica da área experimental (Google Earth, 2015).

O solo está classificado como Latossolo Amarelo distrófico, o qual foi caracterizado quimicamente (Tabela 1). As análises foram realizadas no Laboratório de Química e Fertilidade do Solo do Centro de Ciências Agrárias (UFPB).

Tabela 1. Características químicas do solo, na camada de 0 a 20 cm antes da instalação da série de experimentos. (Ano 2013)

pH	P	K	Na	Ca+Mg	Ca	Mg	Al	H+Al	M.O
1:2,5	- mg/dm ³ -		----- cmol/dm ³ -----						
5,6	3,6	17,9	0,06	2,6	1,4	1,2	0,5	8,7	28,4

O clima da região é definido como subtipo climático As' que corresponde ao clima tropical sub-úmido (quente úmido, com chuvas de outono-inverno). A precipitação acumulada nos anos de 2014 e 2015 foi de 1273 e 1154 mm respectivamente (INMET, 2016) (Figura 2).

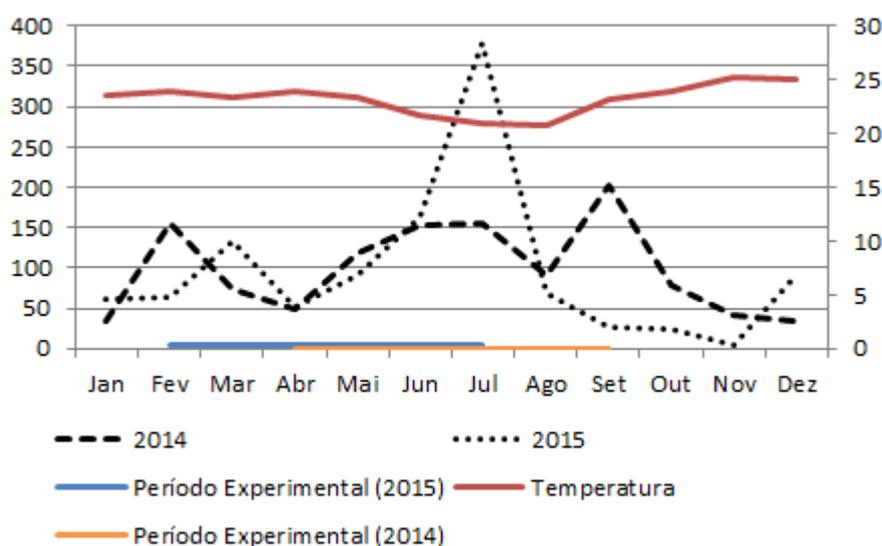


Figura 2. Precipitação (mm) acumulada mensal nos anos de 2014 e 2015 e temperatura média mensal (°C) no ano de 2015 no município de Areia-PB (INMET, 2016).

A topografia da área onde foi instalado o experimento é plana (< 3 %) e de fácil drenagem da água de precipitação.

3.2. Delineamento Experimental

O experimento de adubação foi montado seguindo um delineamento experimental em blocos casualizados, com 11 tratamentos e cinco repetições. Os tratamentos foram

dispostos conforme a matriz Plan Puebla III (ALVAREZ V, 1985), que consistiu da combinação de cinco doses de N, na forma de Uréia (5; 30; 50; 70 e 95 kg ha⁻¹) e cinco doses de K na forma de KCl (4; 24; 40; 56 e 76 kg ha⁻¹), acrescido de uma testemunha absoluta (sem adubação) (Figura 3).

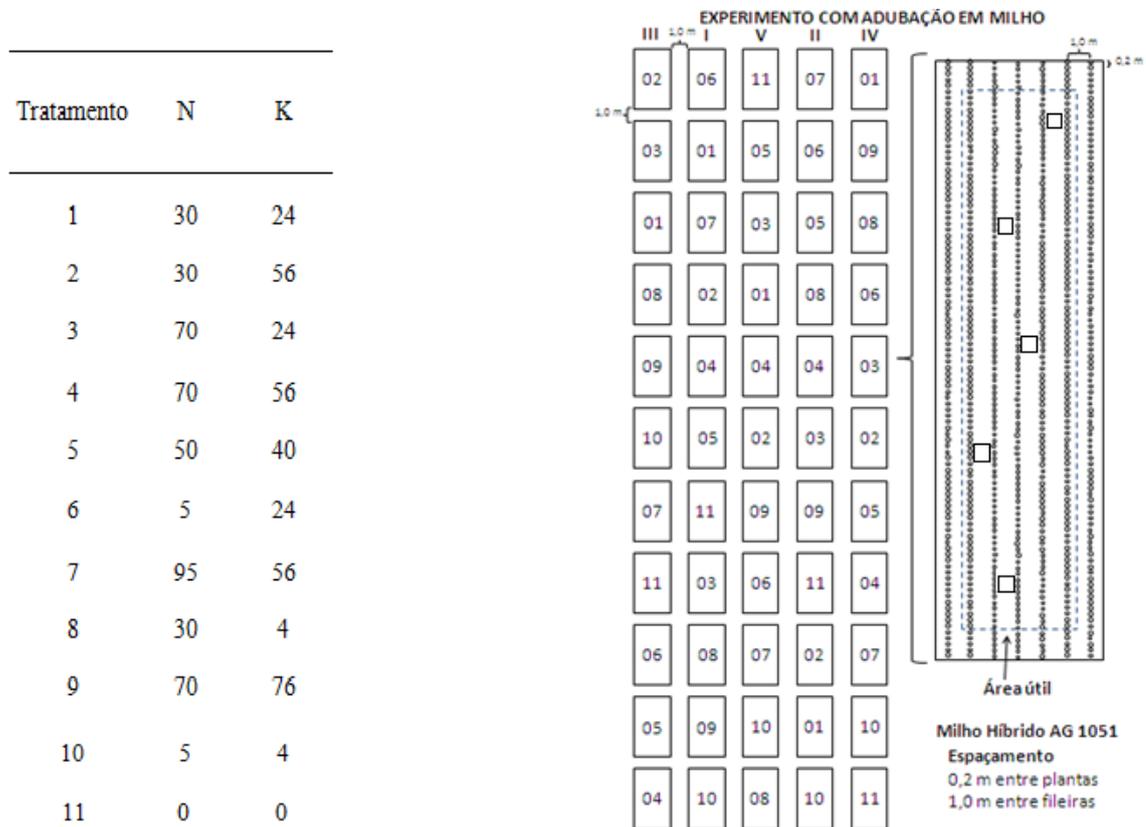


Figura 3. Combinação das doses (kg ha⁻¹) de N e K (K₂O) segundo a matriz Plan Puebla III e representação esquemática da área experimental com a distribuição dos tratamentos e das sacolas de decomposição (□) dentro das parcelas.

As parcelas foram constituídas de sete linhas de 10 m de comprimento, espaçadas de 1,0 m (70 m² por parcela), com as avaliações realizadas nas cinco linhas centrais, dispensando-se as cinco primeiras plantas das bordas (área útil de 40 m²) (Figura 3).

3.3. Instalação, condução e colheita do experimento

O plantio do milho híbrido (AG 1051) foi realizado manualmente no mês de abril de 2014, utilizando-se espaçamento entre fileiras de 1,0 m e 0,2 m entre covas, colocando-se, em cada cova, duas sementes a uma profundidade de 3 a 4 cm (10 sementes por metro linear). Vinte dias após o plantio foi realizado o desbaste deixando-se uma planta por cova.

O potássio e o fósforo foram aplicados todos em fundação (aproximadamente 10 cm de profundidade), juntamente com 30% do nitrogênio. O restante do nitrogênio foi aplicado em cobertura aos 40 dias após o plantio, ao lado da linha, sem incorporação.

Foram coletadas de forma aleatória por parcela, cinco folhas abaixo e oposta à primeira espiga para a diagnose foliar de Nitrogênio (N), e Potássio (K). As análises foram realizadas em laboratório seguindo a metodologia descrita por TEDESCO (1995).

3.4. Colheita e determinação da biomassa

Aos 120 dias após a semeadura realizou-se a colheita manual das espigas de milho concomitante ao corte das plantas rente ao solo. Todo o material (espigas e plantas) foi encaminhado para estufa telada onde foram realizadas a secagem e posterior separação de suas partes constituintes, sendo elas: grãos, palha da espiga, sabugo, folhas e colmo.

3.5. Amostragem do solo das parcelas

Após a colheita e retirada da biomassa do milho, foram coletadas na camada de 0 a 20 cm cinco amostras simples de solo para formação de uma amostra composta de cada parcela, utilizando-se nessa operação um trado holandês. As amostras compostas foram encaminhadas para o Laboratório de Química e Fertilidade do Solo do Centro de Ciências Agrárias (UFPB) onde foram realizadas as determinações químicas.

3.6. Confeção, instalação e coleta das sacolas (*Litter Bags*)

Após a quantificação das partes constituintes da planta de milho (grãos, palha da espiga, sabugo, folhas e colmo) em cada parcela, foram retiradas 6 plantas cuja biomassa de suas partes foi triturada separadamente em moinho tipo forrageira. Em seguida, separou-se 20 g de biomassa seca contendo, proporcionalmente, palha da espiga, sabugo, folhas e colmo. Assim, as 20 g de biomassa foram acondicionadas em sacolas de decomposição do tipo *Litter bags*, sendo estas confeccionadas em náilon, com abertura de malha de 0,5 mm e dimensões externas de 0,2 x 0,2 m.

Após o acondicionamento da biomassa do milho nas sacolas, estas, em número de 5 por parcela, foram distribuídas de forma aleatória, na posição horizontal, a 5 cm de profundidade, totalizando 275 sacolas (Figura 3).

A cada intervalo de 30 dias após a instalação das sacolas, foi realizado a amostragem de uma sacola por parcela, totalizando 5 amostragens (30, 60, 90, 120 e 150 dias). O material amostrado foi transportado para o laboratório, onde passou pelos

seguintes procedimentos: retirada, com pincel de seda, dos restos de solo e fragmentos orgânicos da superfície externa; abertura da bolsa para retirada dos resíduos da biomassa da planta; e lavagem das bolsas em água corrente sob peneira de abertura de malha de 0,425 mm para retirada dos fragmentos ainda contidos nas bolsas. Após a lavagem o material foi acondicionado em sacolas de papel, colocado para secar em estufa a 65°C por 72 horas e, posteriormente, moído.

3.7 Decomposição dos resíduos

Na biomassa residual das sacolas, determinou-se C orgânico, N total, K e a relação C/N segundo os procedimentos adotados por Tedesco et al. (1995).

Na avaliação da decomposição dos resíduos da biomassa do milho e posterior liberação do N e do K no solo, aplicou-se o modelo matemático exponencial descrito por PAUL & CLARK (1989), sendo este explicado por:

$$A = C e^{(-k t)}, \text{ em que,} \quad (\text{eq. 2})$$

A = fração do resíduo inicial existente no tempo t;

C = fração do resíduo potencialmente decomponível;

k = constante da taxa de decomposição do resíduo; e

t = tempo.

Com o valor de k, foi calculado o tempo de meia-vida ($t_{1/2}=0,693/k$). Para cada dose de N e K foram ajustadas as equações exponenciais, relacionando a quantidade média de nutriente reciclado (N e K) em razão da quantidade de biomassa residual do milho.

O modelo exponencial adotado, (eq. 2), apresenta três parâmetros, cujos estimadores não têm fórmula explícita e as estimativas foram obtidas por meio de técnicas numéricas, denominadas de otimização não linear, com o método do algoritmo de Marquardt (Marquardt, 1963).

3.8 Análises estatísticas

Tanto para a análise de variância quanto para a estimativa dos parâmetros da equação exponencial, foi utilizado o pacote estatístico SAEG versão 9.1 (SAEG, 2007).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Produção de biomassa

A produtividade da biomassa do milho em resposta a adubação nitrogenada (N) e potássica (K) no ano de 2014 apresentou efeito significativo nos diferentes compartimentos da planta, tendo na dose máxima do nitrogênio (95 kg ha^{-1}) e do potássio (76 kg ha^{-1}) a melhor resposta na produtividade de grãos ($4.609,76 \text{ kg ha}^{-1}$), palha da espiga ($994,47 \text{ kg ha}^{-1}$), sabugo ($1248,7 \text{ kg ha}^{-1}$), espiga ($6147,32 \text{ kg ha}^{-1}$), palha (caule + folhas) ($4884,73 \text{ kg ha}^{-1}$) e palha total (caule, folha, palha da espiga e sabugo) ($11110,24 \text{ kg ha}^{-1}$) (Figura 4).

Na planta, o N é responsável pela produção de novas células e tecidos, estimulando o crescimento e atividade radicular, com reflexos positivos na absorção de nutrientes e na quantidade de massa seca produzida. Plantas maiores, além de depositarem maior quantidade de palha no solo após a colheita, apresentam maior acúmulo de nutrientes, os quais serão translocados para as espigas no período de enchimento de grãos, influenciando diretamente os ganhos de produtividade (PARIZ et al., 2011).

Seguido do N, o K é o elemento mais absorvido pelo milho, sendo que 30% são exportados nos grãos. No entanto, até há pouco tempo, as respostas ao potássio obtidas em ensaios de campo, com o milho, eram, em geral, menos frequentes e menores que aquelas constatadas para fósforo e nitrogênio, devido, principalmente, aos baixos níveis de produtividade obtidos (COELHO et al., 2007). Apesar de não participar de compostos estruturais nas plantas, esse nutriente desempenha importante papel em vários processos bioquímicos e fisiológicos dos vegetais (VIANA & KIEHL, 2010).

A palhada, por ter um alto potencial tanto produtivo, quanto na sua composição química e no seu valor nutritivo, pode ser incorporada ao solo, fazendo com que parte dos nutrientes retorne ao sistema solo, beneficiando culturas sucessoras.

Para a palha da espiga, a adubação com N apresentou resposta positiva obtendo-se a maior produtividade na dose de 95 kg ha^{-1} (Figura 4). Em comparação com a produtividade de grãos, observou-se um aumento na produtividade para ambos, conforme houve aumento nas doses de N e K. Quanto ao sabugo, a maior quantidade foi obtida na dose de 76 kg ha^{-1} de K (Figura 4).

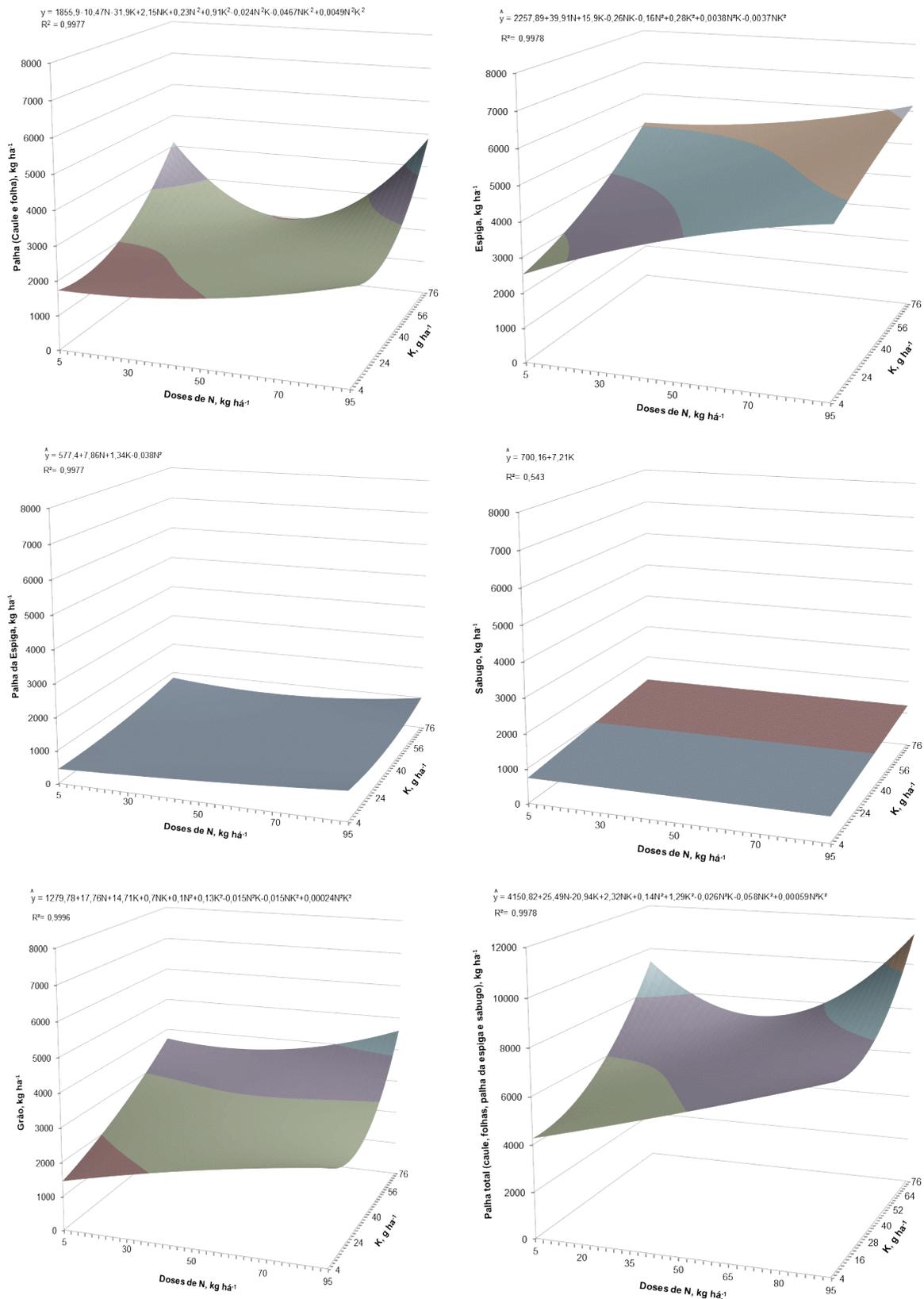


Figura 4. Produtividade da biomassa do milho no ano de 2014, em resposta a adubação nitrogenada (5; 30; 50; 70 e 95 kg ha⁻¹) e potássica (4; 24; 40; 56 e 76 kg ha⁻¹).

4.2 Decomposição de resíduos

Houve redução de 30,5 % da biomassa do resíduo de milho, após 30 dias de incorporados ao solo. Rodrigues et al. (2007), avaliando a decomposição de resíduos culturais de leguminosas em um Argissolo Vermelho Amarelo, constatou que houve aproximadamente 50 % de perda da matéria seca num período de 60 dias, 20% a mais do que encontrado para o resíduo do milho aos 30 dias.

A Tabela 2 mostra os valores da taxa de decomposição do resíduo do milho e seu tempo de meia vida nas aplicações de diferentes doses de nitrogênio e potássio. Observa-se na dosagem de 5 kg de Nitrogênio uma maior taxa de decomposição, e conseqüentemente um menor tempo de meia vida. Torres et al. (2008), avaliando a produção de fitomassa e a mineralização dos seus resíduos de crotalária e milho em sistema de plantio direto nas condições de cerrado, em um Latossolo Vermelho distrófico, observaram um tempo de meia-vida de 98 e 131 dias para crotalária e milho, respectivamente.

Tabela 2. Constante de decomposição (k) e tempo de meia vida ($t_{1/2}$) do resíduo do milho submetido a adubação nitrogenada e potássica

Doses	Nitrogênio			Doses	Potássio		
	k	$t_{1/2}$	r^2		k	$t_{1/2}$	r^2
Kg	$g\ g^{-1}$	dias		kg	$g\ g^{-1}$	dias	
5	0,006912	100,25	0,94	4	0,006198	111,8	0,94
30	0,006684	103,68	0,95	24	0,007011	98,84	0,96
50	0,006719	103,13	0,96	40	0,006301	109,99	0,91
70	0,0063	109,99	0,91	56	0,006877	100,76	0,95
95	0,006393	108,4	0,93	76	0,006422	107,91	0,94

k = Constante de decomposição; $t_{1/2}$ = Tempo meia vida; r^2 = Coeficiente de determinação.

Quanto as dosagens de potássio (Tabela 2), o maior tempo de meia vida foi observado na dosagem de 4 kg ha⁻¹. Sabendo que a relação C/N nas gramíneas é maior, isso pode ter aumentado mais ainda o tempo de meia vida. Períodos secos afetam significativamente as taxas de decomposição, elevando o $t_{1/2}$ vida, devido aos maiores valores de relação C/N e aos menores índices pluviométricos (PACHECO et al., 2011).

De acordo com Boer et al. (2008), a liberação de nutrientes apresenta duas fases distintas: a primeira ocorre de forma rápida, entre 0 e 120 dias, e é relativa à liberação dos nutrientes das folhas e dos materiais menos lignificados e a segunda é mais lenta, entre 120 e 240 dias, e é relativa à decomposição de compostos mais resistentes. Para Fernandez et

al. (2009), as taxas de liberação de nutrientes estão estreitamente relacionadas à alocação destes nas células e nos tecidos vegetais, de forma que os elementos mais solúveis são liberados primeiro do que os com menor solubilidade.

A taxa de decomposição não foi influenciada pelas diferentes doses de nitrogênio e potássio no período de 30 dias (Figura 5). Isso pode estar relacionado com a baixa umidade do solo, devido a baixa precipitação pluviométrica durante esse período (133,3 mm). Alves et al. (2006), avaliando a decomposição de resíduos culturais de espécies nativas na Caatinga paraibana, verificaram que a taxa de decomposição das espécies foi menor aos 30 e 60 dias, sendo que aos 90 dias esta taxa aumentou significativamente devido ao aumento da umidade no solo, resultado da alta pluviosidade registrada naquele período, evidenciando a dependência da taxa de decomposição em relação não apenas a composição do resíduo, mas também ao clima local.

Aos 60 dias da incorporação, houve incremento da decomposição do resíduo de 49,3% do material. Adicionalmente, constatou-se aumento da taxa de decomposição com acréscimo das doses de nitrogênio combinada com as doses intermediárias de potássio (Figura 5). Comportamento semelhante foi observado aos 90 dias da incorporação do resíduo. No entanto, houve uma maior quantidade de resíduo decomposto (50,7%) nesse período (Figura 5). Esse fato pode ser explicado, pela maior quantidade de nitrogênio disponível no solo, estreitando a relação C/N do solo, o que propiciou maior atividade microbiana e, conseqüentemente, maior decomposição dos resíduos. Aos 100 dias de avaliação, em pesquisa realizada nos cerrados do nordeste maranhense, Leite et al., (2010), constataram que as palhadas de vegetação espontânea e milho reduziram 18 e 34%, respectivamente, sendo estes os mais resistentes à decomposição.

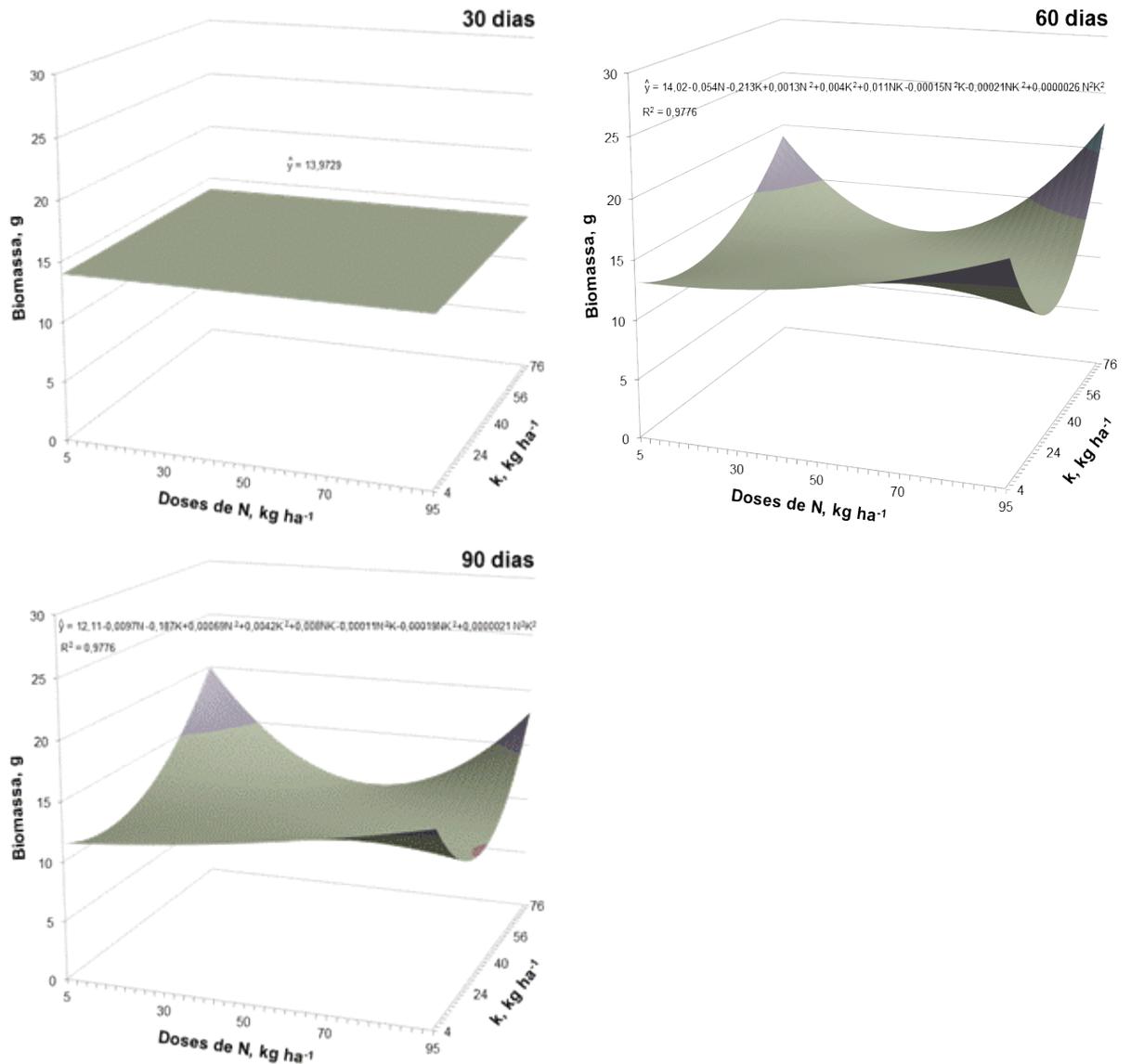


Figura 5. Decomposição da biomassa residual do milho aos 30, 60 e 90 dias em solo submetido a adubação nitrogenada (5; 30; 50; 70 e 95 kg ha⁻¹) e potássica (4; 24; 40; 56 e 76 kg ha⁻¹).

Observou-se que a quantidade de nitrogênio no solo influenciou na quantidade de nitrogênio na palha, quando se aplicou a dose máxima de 95 kg ha⁻¹ de N no solo (Figura 6). Ao decorrer dos dias observa-se que a liberação de N do resíduo do milho, teve seu ponto máximo entre 70 e 100 dias, quando houve uma dose intermediária de nitrogênio sendo está de 50 kg ha⁻¹. Aos 120 a 150 dias, houve um acréscimo no valor de N na palha, isso aconteceu porque houve a diminuição do teor de CO do material, havendo também diminuição na relação C/N como mostra a Figura 6.

Inicialmente o teor de potássio no resíduo foi maior quando se aplicou dosagens intermediárias de nitrogênio no solo (Figura 7). Porém, as doses de nitrogênio não influenciaram na liberação do potássio. Ao passar dos dias, a liberação de potássio foi

seguindo um padrão gradual, onde para todos os tratamentos, o valor máximo de decomposição foi entre 70 e 110 dias. Se observou-se que o potássio tem o máximo de liberação no mesmo período do nitrogênio (Figura 6), apesar do potássio ter a tendência de ser liberado mais rápido que o nitrogênio, como foi observado por Calonego et al. (2012), onde o potássio foi o nutriente liberado mais rapidamente, independente da taxa de mineralização do resíduo vegetal do milho. Sorato et al. (2012) relatam que o K é o nutriente mais solúvel nos extratos dos resíduos vegetais.

Para o Carbono orgânico (Figura 6) houve um maior valor inicial do material onde foi aplicado valores intermediários de nitrogênio no solo, em torno de 50 kg ha^{-1} . Nota-se que ao passar dos dias, houve redução do carbono orgânico do material. Observa-se que, em 150 dias, houve uma baixa no teor de CO da amostra, e comparando com o nitrogênio no mesmo intervalo de tempo, há um acréscimo de nitrogênio no material. Isso pode ser explicado porque, o teor de nitrogênio alto nesse período estreitou a relação C/N, propiciando uma melhor condição para que os microrganismos presentes no solo degradasse o material, e assim, reduzisse o teor de carbono do solo. Sendo também um período onde as chuvas estavam presentes, o que acelera o processo de decomposição de resíduos vegetais.

A Figura 6 mostra a relação C/N do material ao longo dos dias, e sob diferentes doses de nitrogênio no solo. Observa-se inicialmente, que a relação C/N média para todos os tratamentos foi de 47. Porém, entre 70 e 90 dias, houve um aumento significativo da relação C/N nas doses intermediárias de potássio e altas de nitrogênio, 50 kg ha^{-1} e 70 kg ha^{-1} respectivamente. Calvo et al. (2010) encontraram também um aumento na relação C/N aos 90 dias no sorgo e no milheto. Isso pode estar relacionado a baixa umidade do solo, devido ao baixo índice pluviométrico do período (133 mm).

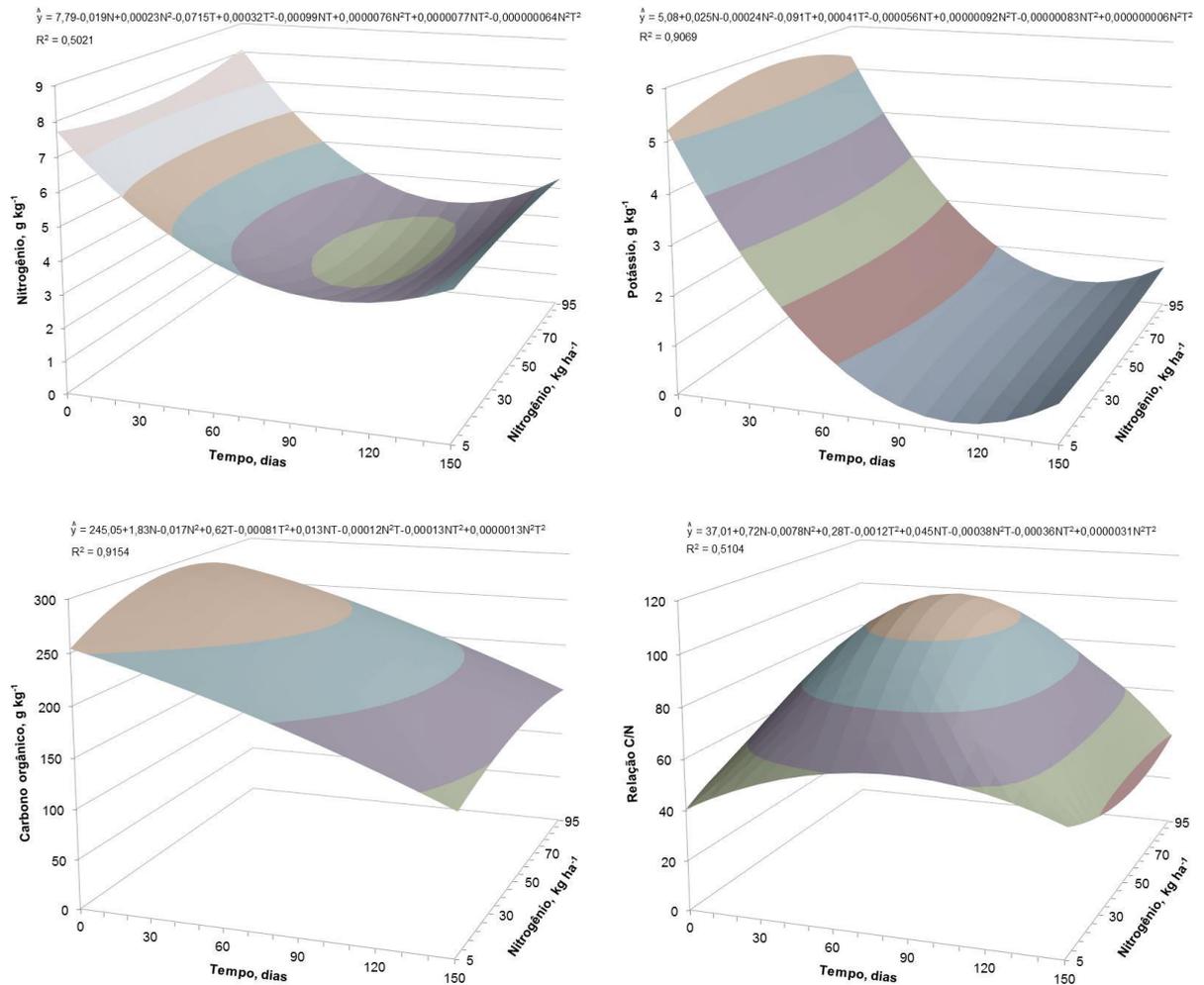


Figura 6. Teor de nitrogênio, potássio, carbono orgânico e relação C/N da palha de milho em diferentes épocas de coleta no solo (0, 30, 60, 90, 120 e 150 dias) após adubação nitrogenada (5, 30, 50, 70 e 95 kg ha⁻¹).

Observa-se na Figura 7 os teores de nitrogênio, potássio, carbono orgânico e a relação C/N do resíduo vegetal do milho, após adubação potássica. Pode-se observar que inicialmente não houve diferença entre a quantidade de N no resíduo com a quantidade de K aplicado no solo. Porém, com o passar dos dias, o teor de N do resíduo caiu, mas ao fim de 150 dias, houve um aumento, destacando a dose de 76 kg ha⁻¹.

Na Figura 7, o padrão de liberação do potássio não variou com a dose de K aplicada no solo, pois se vê que aos 120 dias, todos os tratamentos tiveram o ponto máximo de liberação do potássio como foi citado por Calonego, et al. (2012), sendo o potássio o nutriente liberado mais rapidamente, independente da taxa de mineralização do resíduo vegetal do milho. Isso pode estar ligado ao fato de que o nutriente ocorre na forma iônica nas plantas, não participando de nenhuma estrutura orgânica.

O teor de CO (Figura 7) inicialmente variou quando aplicou doses intermediárias de K no solo, mas, ao passar dos dias, houve uma redução gradual e contínua, que, ao chegar aos 150 dias, observa-se que houve uma perda maior nas doses mais baixas e mais altas de potássio no solo. A diminuição do teor de CO no material é decorrente da decomposição do material, que é composto de carbono, por isso esse decréscimo em comparação ao potássio e ao nitrogênio.

A relação C/N do material (Figura 7), teve um comportamento parecido com a relação C/N da primeira figura (Figura 6). Entre 60 a 90 dias, teve seu ponto mais alto, no mesmo momento em que se observou a maior liberação de nitrogênio para o solo (Figura 7), reduzindo o teor de N do material e elevando a relação C/N.

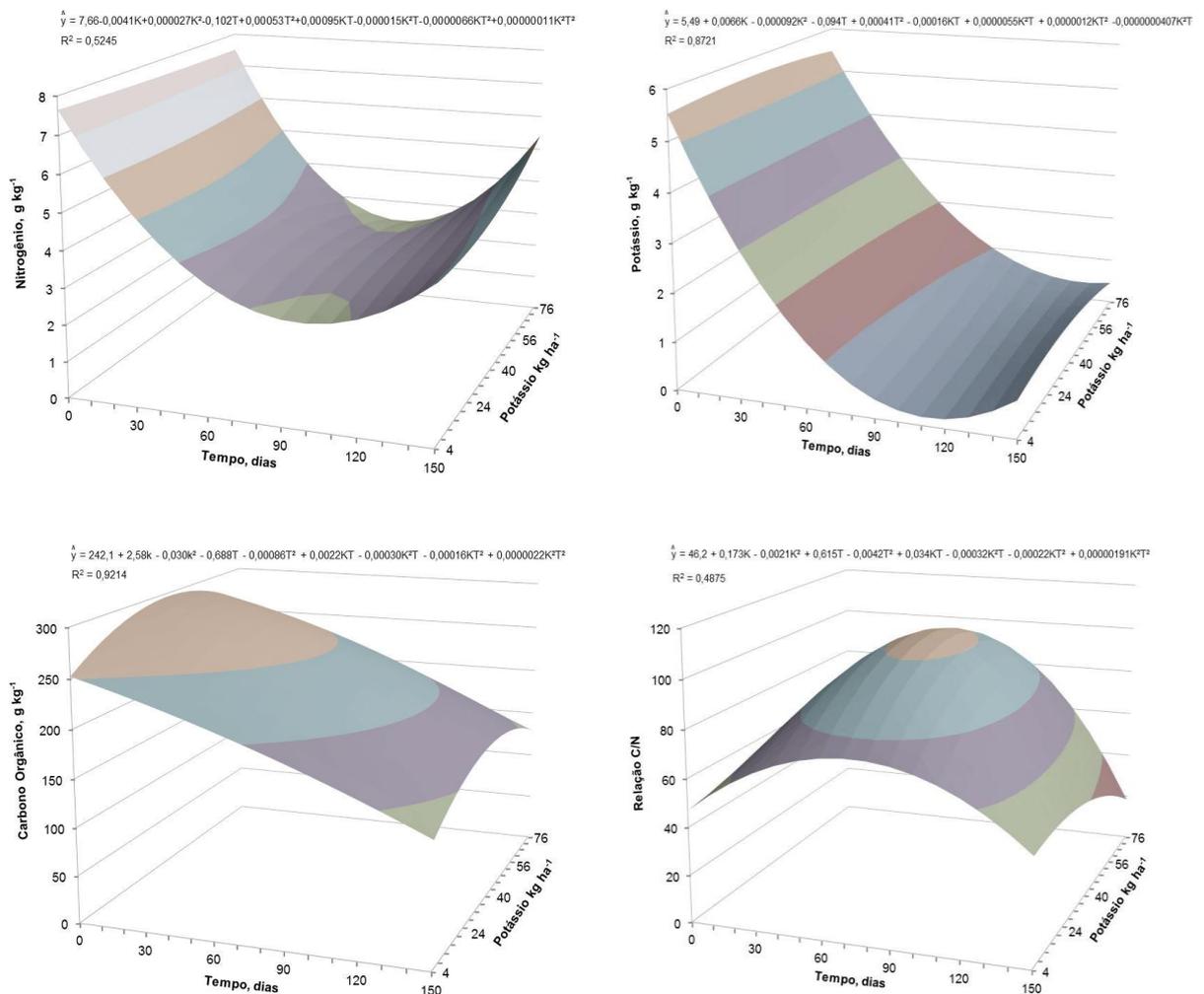


Figura 7. Teor de nitrogênio, potássio, carbono orgânico e relação C/N da palha de milho em diferentes épocas de incorporação no solo (0, 30, 60, 90, 120 e 150 dias) após adubação potássica (4, 24, 40, 56 e 76 kg ha⁻¹).

Houve incremento do fósforo no solo com o aumento das doses combinadas de nitrogênio e potássio (Figura 8). O teor de potássio do solo permaneceu constante para as diferentes doses de nitrogênio e potássio, com o valor médio de $29,97 \text{ mg dm}^{-3}$ (Figura 8). Mesmo nas maiores doses de potássio não houve acúmulo desse nutriente no solo, indicando que a quantidade fornecida foi exportada pela cultura.

Constatou-se que o teor de sódio do solo teve um leve aumento com acréscimo das doses de nitrogênio e potássio (Figura 8). Isso, possivelmente, deve ter ocorrido pelo fornecimento dos fertilizantes. Adicionalmente, as doses crescentes de potássio que podem ter inibido a absorção do sódio, causando acúmulo desse nutriente no solo.

As doses de nitrogênio e potássio não alteraram o teor de carbono orgânico do solo, sendo constatado o valor médio de $22,36 \text{ g kg}^{-1}$ (Figura 8). Após os dois anos de cultivo sucessivo do milho, houve um aumento do carbono orgânico. Quando combinado as menores doses de nitrogênio com as maiores doses de potássio há um aumento do pH, apresentando valores maiores que 6 (Figura 8). O menor valor de pH (4,32) do solo foi observado quando aplicadas as doses 95 kg ha^{-1} de nitrogênio e 38 kg ha^{-1} de potássio.

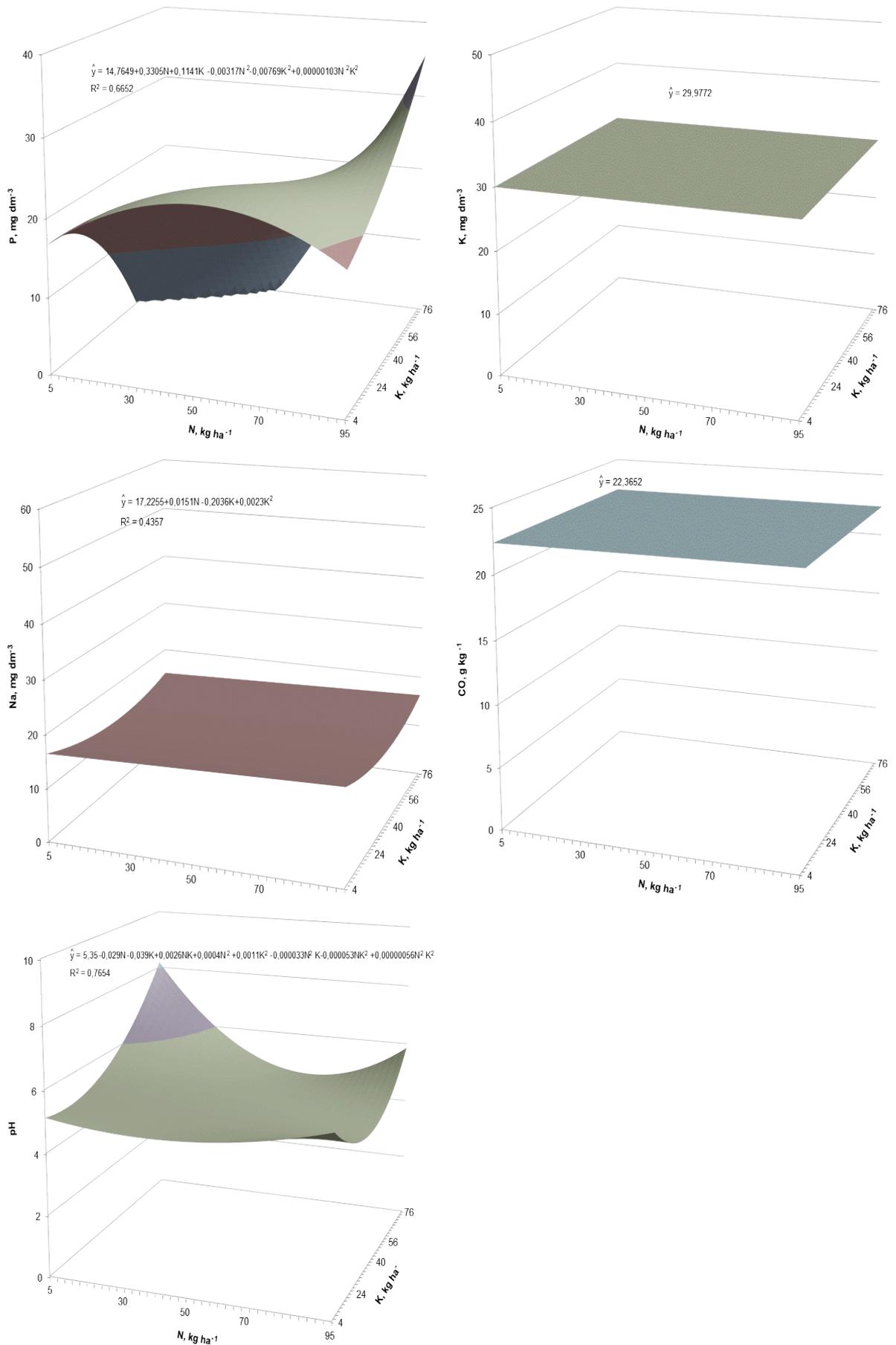


Figura 8. Teores de fósforo (P), potássio (K), sódio (Na), carbono orgânico (CO) e pH do solo após a colheita do milho. (Ano 2014)

5. CONCLUSÕES

1. A melhor produtividade da biomassa do milho foram obtidos na dose máxima do nitrogênio (95 kg ha^{-1}) e do potássio (76 kg ha^{-1});
2. A taxa de decomposição tende a ser inversamente proporcional ao tempo de meia vida do resíduo, onde na dose de 5 kg de nitrogênio houve uma maior taxa de decomposição e, conseqüentemente um menor tempo de meia vida;
3. O estado nutricional da planta reflete na velocidade de decomposição de seus resíduos no solo;
4. A relação C/N foi maior, nas dosagens intermediárias de potássio e elevadas de nitrogênio, 50 kg ha^{-1} e 70 kg ha^{-1} , respectivamente.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACOSTA, J. D. A.; AMADO, T.; da SILVA, L. S.; SANTI, A.; WEBER, M. Decomposição da fitomassa de plantas de cobertura e liberação de nitrogênio em função da quantidade de resíduos aportada ao solo sob sistema plantio direto. **Ciência Rural**, v.44, n.5, p.801-809, 2014.

ALVES, A. R.; SOUTO, J. S.; SANTOS, R. V.; CAMPOS, M. C. C. Decomposição de resíduos vegetais de espécies da Caatinga, na região de Patos, PB. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v. 1, n. 1, p. 57-63, 2006.

BAKKE, I. A., SOUTO, J. S., SOUTO, P. C., BAKKE, O. A. Características de crescimento e valor forrageiro da *Moringa oleifera* submetida a diferentes adubos orgânicos e intervalos de corte. **Engenharia Ambiental**, Espírito Santo do Pinhal, v. 7, p. 133-144, 2010.

BITTAR, I. M. B.; FERREIRA, A. S. de; CORRÊA, G. F. Influência da textura do solo na atividade microbiana, decomposição e mineralização do carbono de serapilheira de sítios do bioma cerrado sob condições de incubação. **Biosci. J.**, Uberlândia, v. 29, n. 6, p. 1952-1960, 2013.

BOER, C. A.; ASSIS, R. L.; SILVA, G. P.; BRAZ, A. J. B. P.; BARROSO, A. L. L.; CARGNELUTTI FILHO, A.; PIRES, F. R. Biomassa, decomposição e cobertura do solo ocasionada por resíduos culturais de três espécies vegetais na região Centro- Oeste do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 843-851, 2008.

CALONEGO, J. C.; GIL, F. C.; ROCCO, V. F.; SANTOS, E. A. Persistência e liberação de nutrientes da palha de milho, braquiária e labe-labe. **Biosci. J.**, Uberlândia, v. 28, n. 5, p. 770-781, 2012.

CALVO, C. L.; FOLONI, J. S. S.; BRANCALIÃO, S.R. produtividade de fitomassa e relação C/N de monocultivos e consórcios de guandu-anão, milheto e sorgo em três épocas de corte. *Bragantia*, Campinas, v.69, n.1, p.77-86, 2010.

CAMARGO, F. A. O.; GIANELLO, C.; VIDOR, C. Potencial de mineralização do nitrogênio em solos do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 21, p. 575-579, 1997.

CAMPOS, M. C. C. Atributos dos solos e riscos de lixiviação de metais pesados em solos tropicais. **Ambiência Guarapuava**, Paraná, v.6 n.3, p. 547 – 565, 2010.

CAMPOS, L.P.; LEITE, L.F.C.; MACIEL, G.A.; IWATA, B.F. & NÓBREGA, J.C.A. Atributos químicos de um Latossolo Amarelo sob diferentes sistemas de manejo. **Pesq. Agropec. Bras.**, v. 46, p. 1681-1689, 2011.

CARNEIRO, W. J. O.; SILVA, C. A.; MUNIZ, J. A.; SAVIAN, T. V. Mineralização de nitrogênio em latossolos adubados com resíduos orgânicos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.37, p. 715-725, 2013.

CYSNE, J. R. B.; PINTO, C. M.; PINTO, O. R. O.; PITOMBEIRA, J. B. Influência da cobertura morta na produtividade de milho e feijão caupi em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, v. 2, n. 2, p. 92-102, 2012.

COELHO, A. M. et al. Sistemas de produção 1: cultivo do milho. 3. ed. Brasília, DF: Embrapa/CNPMS, 2007.

CONCEIÇÃO, P. C.; AMADO, T. J. C.; MIELNICZUK, J.; SPAGNOLLO, E. Qualidade do solo em sistemas de manejo avaliada pela dinâmica da matéria orgânica e atributos relacionados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29 n.5, Viçosa, 2005.

COSTA, G.S.; FRANCO, A.A.; DAMASCENO, R.N. & FARIA, S.M. Aporte de nutrientes pela serrapilheira em uma área degradada e revegetada com leguminosas arbóreas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, p. 919-927, 2004.

DANTAS, V. B.; FILHO, J. L. O. P.; PEREIRA, J. O. Avaliação do efeito da palhada de milho sobre as propriedades físico-química do solo. **Revista Verde**, v.4 n.2, p. 85 – 92, 2009.

DINIZ, E. R.; PEREIRA, W. D.; GUEDES, F.; SANTOS, R. H. S.; PETERNELLI, L. A Decomposição e mineralização do nitrogênio proveniente do adubo verde *Crotalaria juncea*. **Científica**, Jaboticabal, v.42, n.1, p.51–59, 2014.

MARQUARDT, D. W. Journal of the Society for Industrial and Applied Mathematics, Vol. 11, No. 2, Junho, 1963.

EMBRAPA, **Adubação orgânica**. 2010. Disponível em: <http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/milho_6_ed/ferorganica.htm>. Acesso em: 30 set. 2014.

ESPÍNDOLA, J.A.A. et al. Decomposição e liberação de nutrientes acumulados em leguminosas herbáceas perenes consorciadas com bananeira. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.30, p.321- 328, 2006.

FERNANDES, F. C. S.; BUZETTI, S.; ARF, O.; ANDRADE, J. A. C. Doses, eficiência e uso de nitrogênio por seis cultivares de milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 4, n. 2, p. 195-204, 2005.

FERNANDEZ, F.A.; BULL, L.T.; CORRÊA, J.C.; CRESPAM, D.R. Influência de silicato e calcário na decomposição de resíduos culturais e disponibilidade de nutrientes ao feijoeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p.935-945, 2009.

LEITE, L. F. C.; FREITAS, R. de C. de.; SAGRILO, E.; GALVÃO, S. da. S. R. Decomposição e liberação de nutrientes de resíduos vegetais depositados sobre Latossolo Amarelo no Cerrado Maranhense. **Revista Ciência Agronômica**, v. 41, n. 1, p. 29-35, 2010.

MACHADO, D. M.; SCHOSSLER, T. R.; ZUFFO, A. M.; DE ANDRADE, F. R.; PIAULILINO, A. C. Atividades microbianas e as transformações no ciclo dos elementos no solo. **Enciclopédia biosfera**, v.8, n.15; p.181, 2012.

MAIA, S. M. F.; XAVIER, F. A. S.; OLIVEIRA, T. S.; MENDONÇA, E. S.; FILHO, J. A. A. Frações de nitrogênio em luvisolo sob sistemas agroflorestais e convencional no semi-árido cearense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.381-392, 2008.

MARQUARDT, D. W. Na algorithm for least-squares estimation of nonlinear parameters, **J. Soc. Indust. Appl. Math.**, v.11, p.431-441, 1963

MATOS, E.S.; MENDONÇA, E.S.; CARDOSO, I.M.; LIMA, P.C. & FREESE, D. Decomposition and nutrient release of leguminous plants in coffee agroforestry systems. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, p.141-149, 2011.

MEIRA, F. A. de.; BUZETTI, S.; ANDREOTTI, M.; ARF, O.; SÁ, M. E. de.; ANDRADE, J. A. C. Fontes e épocas de aplicação do nitrogênio na cultura do milho irrigado. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 30, n. 2, p. 275-284, 2009.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. Microbiologia e Bioquímica do solo. 2. ed. Lavras: UFLA, 2006. 729 p

PACHECO, L. P., LEANDRO, W. M., MACHADO, P. L. O. A., ASSIS, R. L., COBUCCI, T., MADARI, B. E., PETTER, F. A. Produção de fitomassa e acúmulo e liberação de nutrientes por plantas de cobertura na safrinha. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** 46: 17-25, 2011.

PARIZ, C. M.; ANDREOTTI, M.; AZENHA, M. V.; BERGAMASCHINE, A. F.; MELLO, L. M. M. de; LIMA, R. C. Produtividade de grãos de milho e massa seca de braquiárias em consórcio no sistema de integração lavoura-pecuária. **Ciência Rural**, v.41, p.875-882, 2011.

PAUL, E. A.; CLARK, F. E. Dynamics of residue decomposition and soil organic matter turnover. In: PAUL, E. A.; CLARK, F. E. **Soil microbiology and biochemistry**. California: Academic Press, Inc., 1989. p.115-130

PAUL, E. A.; CLARK, F. E. **Soil microbiology and biochemistry**. 3.ed. California: Academic, 1996. 340p.

PAULA, J. R.; MATOS, A. T.; MATOS, M. P.; PEREIRA, M. S.; ANDRADE, C. A.. Mineralização do carbono e nitrogênio de resíduos aplicados ao solo em campo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.57, p.1729-1741, 2013.

SAEG Sistema para Análises Estatísticas, Versão 9.1: Fundação Arthur Bernardes - UFV - Viçosa, 2007.

SCORIZA, R. N.; PEREIRA, M. G.; PREIRA, G. H. A.; MACHADO; D. L.; SILVA, E. M. R. Métodos para coleta e análise de serrapilheira aplicados à ciclagem de nutrientes. **Floresta e Ambiente**, v.2, n.2, p. 01-18, 2012.

- SILVA, R. B. da.; SANTOS, A. C. dos.; BATISTA, R. B. Caracterização dos solos e análise do estágio de degradação em glebas em diferentes agrossistemas. **Revista Caatinga**, v.3, n.3, 2010.
- SILVA, D. A.; SOUZA, L. C. F.; VITORINO, A. C. T.; GONÇALVES, M. C. Aporte de fitomassa pelas sucessões de culturas e sua influência em atributos físicos do solo no sistema plantio direto. **Bragantia**, Campinas, v. 70, n. 1, p.147-156, 2011.
- SORATTO, R. P., CRUSCIOL, C. A. C., COSTA, C. D., FERRARI NETO, J., CASTRO, G. S. A. Produção, decomposição e ciclagem de nutrientes em resíduos de crotalária e milheto, cultivados solteiros e consorciados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.47, p.1462-1470, 2012.
- STANFORD, G. e SMITH, S.J. Nitrogen mineralization potential of soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, Madison, 36:465-472, 1972.
- TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; VOLKWEISS, S. J.; BOHNEN, H. Análises de solo, planta e outros materiais. 2. ed. Porto Alegre: UFRGS, 1995. 174p.
- TEIXEIRA, C.M., LOSS, A., PEREIRA, M.G., PIMENTEL, C. Decomposição e ciclagem de nutrientes dos resíduos de quatro plantas de cobertura do solo. **Idesia**, v.30, p.55-64, 2012.
- TERROR, V. L.; SOUSA, H. C. D.; KOZOVITS, A. R. Produção, decomposição e qualidade nutricional da serapilheira foliar em uma floresta paludosa de altitude. **Acta Botanica Brasilica**, v.25, n.1, 113-121, 2011.
- THOMAS, R.J. & ASAKAWA, N.M. Decomposition of leaf litter from tropical forage grasses and legumes. *Soil Biol. Biochem.*, 23:1351-1361, 1993.
- TORRES, J. L. R.; PEREIRA, M. G.; ANDRIOLI, I.; POLIDORO, J. C.; FABIAN, A. J. Decomposição e liberação de nitrogênio de resíduos culturais de plantas de cobertura em um solo de cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p.609-618, 2005.
- TORRES, J.L.R.; PEREIRA, M.G. Dinâmica do potássio nos resíduos vegetais de plantas de cobertura no cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.1609-1618, 2008.
- TORRES, J. L. R.; PEREIRA, M. G.; FABIAN, A. J. Produção de fitomassa por plantas de cobertura e mineralização de seus resíduos em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, n. 3, p. 421-428, 2008.
- VERHOEF, H.A., 1995. Litterbag method. In: Alef, K., Nannipieri, P. (Eds.) (Ed.), *Methods in applied soil microbiology and biochemistry*. Academic Press, London, pp. 485-487.
- VIANA, E. M. & KIEHL, J. D. Doses de nitrogênio e potássio no crescimento do trigo. **Bragantia**, Campinas, v.69, n.4, p.975-982, 2010.
- XAVIER, F. A. S.; MAIA, S. M. F.; OLIVEIRA, T. S.; MENDONÇA, E. S. Biomassa microbiana e matéria orgânica leve em solos sob sistemas agrícolas orgânico e convencional na chapada da ibiapaba – CE. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 50, p.247-258, 2006.

YAGI, R.; FERREIRA, M. E.; CRUZ, M. C. P.; BARBOSA, J. C. Mineralização potencial e líquida de nitrogênio em solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p.385-394, 2009.

APÊNDICES

Tabela 1A. Dados de precipitação (mm) acumulada mensal nos anos de 2014 e 2015 e temperatura média mensal no ano de 2015 no município de Areia-PB (INMET, 2016).

Mês	Ano	
	2014	2015
Precipitação (mm).....	Temperatura (°C)
Jan	34,8	62
Fev	156,6	65
Mar	73,1	133,3
Abr	48,2	52,3
Mai	117,9	91,2
Jun	153,7	164
Jul	156,2	379,6
Ago	92,2	68,7
Set	203,8	27,9
Out	78	24,9
Nov	40,9	4,7
Dez	34,1	92,1

ANEXOS



Figura 1A. Adubação do milho



Figura 2A. Plantas de milho



Figura 3A. Bolsa com resíduo antes da incorporação



Figura 4A. Incorporação a 5 cm



Figura 5A. Coleta de bolsas aos 90 dias



Figura 6A. Pré-limpeza das bolsas em

laboratório



Figura 7A. Lavagem dos resíduos

