

08 a 11 de Outubro de 2018  
Instituto Federal Fluminense  
Búzios - RJ

## PRODUÇÃO DE FERTILIZANTE DE LIBERAÇÃO LENTA DE FÓSFORO OBTIDO A PARTIR DE QUITINA EXTRAÍDA DO EXOESQUELETO DO CAMARÃO *LITOPENAEUS VANNAMEI*

**Lauro César Rangel Radael**<sup>1</sup> – lauro.r@gmail.com

**Damaris Guimarães**<sup>1</sup> – guimaraes.damaris@yahoo.com.br

<sup>1</sup> Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias e Engenharias – Alegre, ES, Brasil.

**Resumo.** A utilização de fertilizantes fosfatados nos solos brasileiros pode resultar em perdas de até 70% do total aplicado. Isso é ocasionado principalmente pela alta afinidade dessa classe de fertilizantes com íons presentes no solo, tais como: Fe; Ca e Al. Dentro desse contexto, no presente trabalho foi desenvolvido um fertilizante a base de fósforo e quitosana que seja resistente aos fatores que afetam o seu rendimento. A quitosana utilizada foi produzida a partir das cascas do camarão *Litopenaeus vannamei* que foram submetidas aos seguintes tratamentos: (i) pré-tratamento; (ii) desmineralização com solução de HCl 1 mol.L<sup>-1</sup>; (iii) desproteínação com solução de NaOH 2 mol.L<sup>-1</sup>; (iv) despigmentação com solução de NaClO 1% m/v; (v) desacetilação alcalina com solução de NaOH 60% m/v. O rendimento global da etapa de produção da quitosana foi de 13,3% e essa apresentou um grau de desacetilação de 80,8%. Com esse material, produziu-se o fertilizante pelo método de inversão de fases, o qual resultou em esferas com tamanho médio de 4,0 mm e resistência mecânica satisfatória quando comparada aos demais fertilizantes fosfatados. O comportamento do fertilizante no solo foi observado por um período de 30 dias. Nesse intervalo, o mesmo apresentou baixa solubilidade e alta absorção de umidade.

**Palavras-chave:** Quitosana, Ácido fosfórico, Fertilizantes fosfatados.

### 1. INTRODUÇÃO

O Brasil é um dos países com maior potencial para o agronegócio no mundo e sua demanda por insumos é crescente. Levantamentos atuais para a produção de grãos estimam que há uma área de 60 milhões de hectares plantados, dados coletados em todas as regiões produtivas do país (CONAB, 2017). Os avanços das técnicas de plantio apontam para um sistema de produção cada vez mais eficiente, visando extrair o máximo por hectare plantado, em geral essa eficiência

está diretamente relacionada ao correto uso de fertilizantes e defensivos agrícolas. Em consequência do aumento contínuo da produtividade, o consumo de adubo no país tem crescido a cada ano (SOUZA, 2012). Segundo dados da ANDA (Agência Nacional para a Difusão de Adubos), no ano de 2015 para 2016, houve um acréscimo de aproximadamente 14% nesse consumo, totalizando em 2016 um consumo de 34.083.415 t de fertilizantes dos quais 71,83% são provenientes de importação (ANDA, 2017).

No Brasil, a maior parte do fósforo é obtida a partir de rochas denominadas apatitas. No entanto, por ser um recurso mineral não renovável, levando-se em consideração seu consumo crescente, levantamentos geológicos estimam que as reservas de fósforo no Brasil não ultrapassem 400 anos (SILVA, 2005). Dentre os produtos gerados a partir da apatita, um dos principais é o ácido fosfórico que é obtido pela reação da rocha fosfática com ácido sulfúrico (BNDES, 2006).

Em determinadas culturas a suplementação do solo com fertilizantes fosfatados é essencial para que se obtenha boa produtividade, porém existem alguns fatores que alteram a disponibilidade desse nutriente no solo, até mesmo quando aplicado em altas doses (MACHADO, 2012). Segundo Novais et al. (2007), citado por Stauffer (2016), uma vez que solubilizado, o fosfato tende a ser adsorvido pelos óxidos de Fe, Ca e Al que estão presentes no solo. A esse processo é dado o nome adsorção específica que é o principal responsável pela redução do teor de P da solução do solo. Em solos argilosos, em que a adsorção de P é ainda maior, as perdas podem chegar a 70% do total de fósforo que é aplicado. Além disso, fatores como a baixa concentração e elevada necessidade fisiológica exigem que os agricultores suplementem o solo com doses de fertilizantes cada vez mais elevadas (MACHADO, 2012).

Trenkel (2010) afirma que alternativas têm sido buscadas para elevar a eficiência dos fertilizantes fosfatados. Dentre as formas mais utilizadas, tem se destacado a utilização de fontes revestidas com materiais poliméricos, por exemplo os que sejam biodegradáveis entre outras formas de revestimentos.

A busca por fertilizantes que supram a demanda nutricional das plantas e ao mesmo tempo sejam resistentes a fatores como a lixiviação, a volatilização e a formação de fixados (processo de adsorção) deram origem a uma nova gama de fertilizantes, que são denominados segundo suas características particulares (BORSARI, 2013). Os mais conhecidos são os fertilizantes de liberação controlada e fertilizantes de liberação lenta, suas principais funções são: (i) reduzir as perdas por processos químicos, físicos ou biológicos; (ii) manter as quantidades necessárias de nutrientes disponíveis para as plantas por um maior período de tempo; (iii) promover economia com mão-de-obra, pois será prolongado o tempo de parcelamento da adubação, e (iv) evitar danos causados as raízes, sementes e ao meio ambiente devido ao excesso de fertilizantes no momento da aplicação (SOUZA, 2012, SILVA, 2013).

Uma abordagem mais específica pode ser dada a partir das seguintes definições, fertilizantes de liberação controlada são aqueles que não dependem diretamente de fatores do solo e mantêm um gradiente de liberação no tempo que deverá ser determinado segundo os métodos utilizados em sua fabricação. Já os fertilizantes de liberação lenta possuem uma taxa de liberação retardada que é influenciada pelo meio. Por exemplo, fatores como pH e umidade podem acelerar ou reduzir a velocidade com que os nutrientes são liberados (BORSARI, 2013, MACHADO, 2012).

A descoberta de diferentes métodos que proporcionam a liberação lenta dos fertilizantes levou à necessidade de se estabelecer padrões para essa classe. Isso foi feito pelo European Standardization Committee (CEN), o qual publicou uma declaração em que é estabelecido que, a 25° C, os fertilizantes de liberação lenta devem obedecer aos seguintes requisitos (Kloth, 1996 apud Trenkel, 2010):

- ✓ - Não liberar mais que 15% do nutriente em 24 horas;

- ✓ - Não liberar mais que 75% do nutriente em 28 dias;
- ✓ - Liberar pelo menos cerca de 75% do nutriente no tempo de liberação declarado.

A indústria farmacêutica é responsável por desenvolver inúmeras tecnologias de liberação lenta e controlada de fármacos e, em alguns casos, essas tecnologias são adaptadas e utilizadas no ramo da agroindústria. Um exemplo é a utilização de quitosana para a fabricação de fertilizantes de liberação lenta (MESSA et al., 2016; AZEVEDO et al., 2007; WU e LIU, 2008). A quitosana é um biopolímero obtido a partir da desacetilação ácida ou alcalina da quitina, um polissacarídeo classificado como um dos mais abundantes na natureza e que é o constituinte principal do exoesqueleto dos artrópodes. Suas principais características são: ser solúvel em meio ácido; ser biodegradável; apresentar biocompatibilidade e ser produzida a partir de fontes renováveis (VÁZQUEZ, 2017).

Kubitza (2015) apresenta os dados da pesca do camarão branco-do-pacífico (*litopenaeus vannamei*), a qual ao longo dos anos tem variado entre 65.000 e 90.000 t, sendo que no ano de 2014 a produção total foi de 90.000 t. A indústria que beneficia o camarão é responsável por condicionar e direcionar o que é pescado ao mercado consumidor. Nesse processo, cerca de 50% do volume total da pesca é considerado rejeito e são descartados em grandes quantidades, essa fração corresponde ao exoesqueleto e cabeça do crustáceo, material que se descartado de forma incorreta pode contaminar rios e contribuir para a proliferação de agentes patogênicos (OLIVEIRA et al., 2016; ISLAM et al., 2004).

Macêdo (2008), afirma que a principal fonte de quitina comercial são as cascas de crustáceos, subprodutos da indústria pesqueira, material rico em lipídeos, minerais, proteínas, pigmentos e quitina.

O que diferencia estruturalmente quitina e quitosana é a presença dos grupos (-NH<sub>2</sub>) na quitosana, cuja nomenclatura segundo IUPAC é 2-amino-2-deox-D-glicopirranose e (-NHCH<sub>2</sub>OH) na quitina, cuja nomenclatura segundo IUPAC é 2-acetamido-2-deox-D-glicopirranose. As características da quitosana como ser solúvel em ácidos orgânicos (pH < 6), capacidade morfológica de se unir e formar cadeias poliméricas deu a esse composto a possibilidade de ser empregado em diversos ramos da engenharia (CAMPANA-FILHO et al., 2007).

Azevedo et al. (2007) afirmam que a quitosana, quando comparada a outras resinas sintéticas, se destaca por possuir grandes quantidades de poros distribuídos de forma uniforme por toda sua estrutura, sendo favorável à difusão de substratos no seu interior. Esses fatores aliados a características do solo, tais como: temperatura média de 21°C; umidade e pH médio de 5,5 favorecem o mecanismo de ação dos fertilizantes a base de quitosana, os quais apresentam liberação lenta dos nutrientes (OLIVEIRA et al. 2016).

Diante de todo o exposto, o presente trabalho foi desenvolvido visando à formação de um fertilizante a base de fósforo e quitosana que apresente uma liberação lenta desse nutriente.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1. Extração da Quitina e Produção da Quitosana

A matéria prima utilizada na obtenção da quitina foi o cefalotórax e abdômen do camarão *Litopenaeus vanamei*. O processo de extração da quitina e sua posterior conversão em quitosana foi adaptado dos trabalhos realizados por Battisti e Campana-Filho (2008) e Vázquez et al. (2017). As etapas empregadas na produção foram as seguintes: 1º) pré-tratamento para remoção de impurezas sólidas das casca de camarão, secagem e moagem; 2º) desmineralização com 10 mL de solução de HCl (1 mol.L<sup>-1</sup>) para cada 1,0 g do material, mantido sob agitação a 35° C por 2 horas; 3º) desproteínação com 10 mL solução de NaOH (2 mol.L<sup>-1</sup>) para cada 1,0 g de

casca desmineralizada, mantido sob agitação a 45° C por 3 horas; 4°) despigmentação do material desproteinado com solução de NaClO (1% m/v), mantido sob agitação por 2 horas, a 35° C para a obtenção da quitina; 5°) desacetilação alcalina da quitina com 20 mL de solução de NaOH (60% m/v) para cada 1,0 g de material, mantido sob agitação a 90° C por 12 horas.

Todas as etapas adotadas foram seguidas de lavagem do material com água deionizada até neutralizar o pH. Em seguida, o mesmo foi levado à estufa para secar a 50° C por 24 horas.

## 2.2. Determinação do grau médio de desacetilação (GD)

O grau médio de desacetilação da quitosana foi determinado utilizando a titulação condutimétrica, seguindo o método adotado por Santos et al. (2003), no qual uma alíquota de 150 mg de quitosana foi adicionada em 40 ml de solução de ácido clorídrico (0,05 mol.L<sup>-1</sup>) e titulada com solução de hidróxido de sódio (0,170 mol.L<sup>-1</sup>) até neutralizar o pH. O grau médio de desacetilação foi determinado a partir da Eq. (1), na qual a parte à direita da equação corresponde ao equivalente em mol do radical (-NH<sub>2</sub>) por kg de quitosana.

$$\%GD = (16.1 \text{ Kg/mol}) * \left[ \frac{[C_{\text{base}}].[V_{\text{bq}}]}{m_{\text{q}}} \right] \quad (1)$$

Em que,

[C<sub>base</sub>] = concentração da base em mol.L<sup>-1</sup>.

V<sub>qb</sub> = Volume de base em L necessário para neutralizar os grupos ácidos da quitosana.

m<sub>q</sub> = massa da quitosana utilizada em Kg.

## 2.3. Espectroscopia na região do infravermelho

A fim de caracterizar a quitosana obtida, cerca 40 mg do material foi devidamente seco e macerado com aproximadamente 120 mg de KBr. A mistura foi prensada até formar uma pastilha sólida que foi submetida à análise por espectroscopia na região do infravermelho utilizando um equipamento da marca Bruker, modelo Tensor 27-IR.

## 2.4. Produção das esferas do fertilizante

O método adotado para a produção do fertilizante é o de inversão de fases citado em trabalhos como o de Messa et al. (2016) e de Dias e Queiroz (2008). Para a produção do fertilizante foi preparada uma solução de ácido clorídrico (0,05 mol.L<sup>-1</sup>) para ser utilizada na diluição da quitosana na proporção de 5% de quitosana em relação ao volume de solução ácida, a emulsão permaneceu sob agitação mecânica por 12 horas, após o término da dissolução adicionou-se ácido fosfórico (H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>) na proporção de 0,75 g para cada 1,0 g de quitosana presente na emulsão. Após a adição do ácido fosfórico, a suspensão foi mantida sob agitação por mais 3,0 horas. O processo de gelificação do fertilizante foi feito pelo gotejamento da emulsão com o auxílio de uma bomba peristáltica em uma solução de NaOH (2,0 mol.L<sup>-1</sup>). Após o processo, as esferas foram lavadas com água deionizada até pH próximo de neutro e posteriormente levadas à estufa para secar a 50° C por 24 horas.

## 2.5. Teste do fertilizante no solo

O teste para avaliar o comportamento do fertilizante ao entrar em contato com o solo foi realizado utilizando a amostra de um latossolo vermelho-amarelo, a qual foi coletada na subsuperfície do mesmo a cerca de 20 cm. Para montar o experimento, utilizou-se quatro caixas plásticas com volume de 200 ml, cada caixa recebeu cerca de 100 cm<sup>3</sup> de solo, que foi previamente peneirado em peneira de 2 mm e umedecido até atingir um potencial matricial de – 10 KPa. Foi adicionado em cada caixa 0,5 g do fertilizante produzido sendo que uma delas não recebeu o tratamento e foi utilizada como controle. O tempo de contato entre o fertilizante e o solo foi de 30 dias.

### 3. RESULTADOS

#### 3.1. Produção da quitosana

A Tabela 1 apresenta os dados obtidos na etapa de extração da quitina e sua conversão em quitosana. Tomando como base a entrada de matéria seca no processo, pode-se observar a partir da célula de rendimento acumulado que o rendimento global da reação foi de 13,3%. É válido observar que, como o trabalho envolve o reaproveitamento de resíduos, o rendimento obtido pode sofrer variações à medida que se modifica a natureza do material utilizado como matéria prima no processo.

Tabela 1: Dados para a produção da quitosana.

Etapa	Massa inicial (g)	Massa final (g)	Rendimento acumulado (%)
Desmineralização	26,31	8,47	32,1
Desproteinação	8,47	5,49	20,9
Despigmentação	5,49	5,33	20,3
<b>Desacetilação</b>	<b>5,33</b>	<b>3,48</b>	<b>13,3</b>

#### 3.2. Grau médio de desacetilação (GD)

A quitosana produzida apresentou grau médio de desacetilação igual á 80,8%, a Fig. 1 apresenta as curvas de condutância em (mS.cm<sup>-1</sup>) em função do volume de solução padrão de NaOH (0,164 mol.L<sup>-1</sup>) em mL obtidos na titulação condutimétrica. Para cada curva do gráfico, foi obtida uma reta, denominada linha de tendência, e suas respectivas equações. A partir dessas equações foi possível determinar os pontos interseção dessas retas e, assim, encontrar o volume de solução de NaOH padrão necessário para neutralizar as aminas protonadas da quitosana, que está representado pelos pontos em vermelho no gráfico. O valor do GD foi calculado aplicando o volume de solução padrão de NaOH encontrado na Eq. (1).

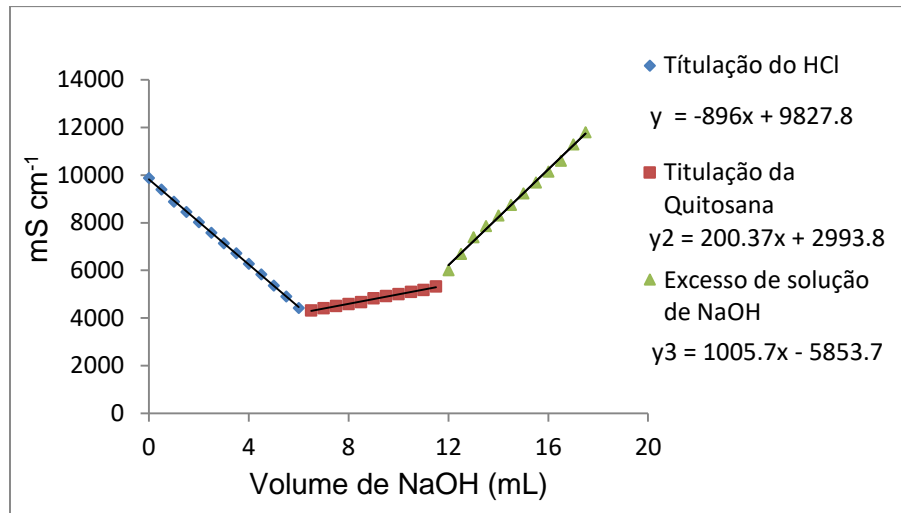


Figura 1: Curva de titulação condutimétrica com a condutância em mS.cm<sup>-1</sup> em função do volume em mL de solução padrão de NaOH.

### 3.3. Espectrometria de infravermelho

A Figura 2 apresenta o espectro de infravermelho da quitosana produzida experimentalmente. Com base na biblioteca de espectros fornecidas por Silverstein (2012), foi possível identificar os picos de interesse no espectro, em que, na região de 3497-3077 cm<sup>-1</sup> observa-se uma banda larga que indica a deformação axial das ligações “N-H” de aminas e amidas primárias que estão presentes na estrutura da quitosana, os picos compreendidos entre 1260-1000 cm<sup>-1</sup> indicam a presença de álcoois, resultado da deformação axial das ligações “C-O”, os picos localizados entre 1156-890 cm<sup>-1</sup> são característicos de polissacarídeos que é o tipo de material em estudo. O espectro também foi compatível com os resultados apresentados em pesquisas realizadas por Ifuku et al. (2015) e Santos et al. (2003).

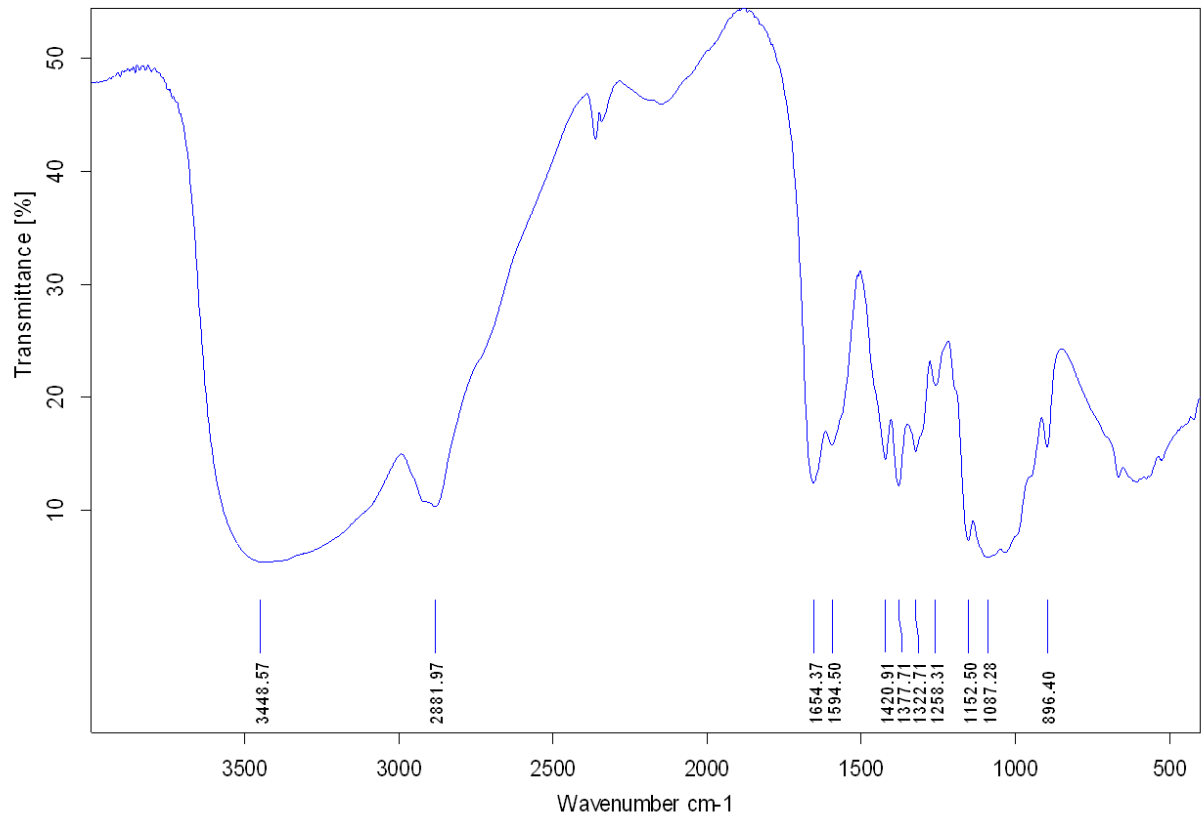


Figura 2: Espectro de infravermelho da quitosana produzida experimentalmente, dado pela transmitância (%) em função do comprimento de onda em  $\text{cm}^{-1}$ .

### 3.4. Produção do fertilizante

O experimento comprovou ser possível a aplicação do método de inversão de fases na produção do fertilizante de fósforo a partir de quitosana e ácido fosfórico. A Figura 3 apresenta o produto final obtido durante o experimento, os grânulos formados possuem formato de gota, diâmetro médio de 4,0 mm e resistência mecânica satisfatória quando comparado aos demais fertilizantes fosfatados.



Figura 3: Fertilizante produzido a partir de quitosana e ácido fosfórico, o tamanho médio dos grânulos é de 4,0 mm +/- 0,5 mm.

Ao testar o comportamento do fertilizante ao entrar em contato com o solo, observou-se que o mesmo apresentou um tempo para completa solubilização inferior a 30 dias pois, ao final desse período, o fertilizante estava presente em pequenas quantidades. Além disso, foi observada sua característica hidrofílica que possibilita a absorção de água do meio. Isso é uma importante característica que atribui ao fertilizante a capacidade de auxiliar na manutenção da umidade do solo.

Outra característica importante que foi observada foi o fato de, ao entrar em contato com o solo, os grânulos de fertilizante com maior diâmetro levaram mais tempo para solubilizar. Isso pode ser visto de forma positiva para ajustar o tempo em que o fertilizante deve levar para se dissolver completamente e liberar seus nutrientes.

#### 4. CONCLUSÕES

A presente pesquisa mostrou ser possível desenvolver um fertilizante a base de fósforo, aplicando uma técnica simples denominada inversão de fases e utilizando como matéria prima a quitosana produzida a partir das cascas do camarão branco do pacífico (*litopenaeus Vannamei*), as quais devido a sua abundância como resíduo do setor pesqueiro pode viabilizar a produção do fertilizante em escala industrial.

O fertilizante produzido apresentou tempo de solubilização suficiente para que possa ser classificado com um fertilizante de liberação lenta, entretanto é necessário que o mesmo seja submetido a testes mais aprofundados para que seja determinada com precisão a taxa de liberação de seus nutrientes com o tempo e ainda a relação dessa taxa com a granulometria do material.

#### *Agradecimentos*

Os autores agradecem a “UFES” pela disponibilização dos laboratórios para o desenvolvimento da pesquisa e pela concessão de bolsa de Iniciação Científica e agradecem também ao Professor Demetrius Profeti pela realização da análise no Espectrômetro de Infravermelho.

#### 5. REFERÊNCIAS

ANDA, Principais Indicadores Do Setor De Fertilizantes. Disponível em: <<http://anda.org.br/index.php?mpg=03.00.00>> . Acesso em: 30 abril 2017.

Azevedo, V. V. C. et al. Quitina e Quitosana: aplicações como biomateriais, Revista Eletrônica de Materiais e Processos, v.2.3, p. 27-34, 2007.

BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n. 24, p. 97-138, set. 2006. Disponível em: <<http://www.bndes.gov.br/bibliotecadigital>> . Acesso em: 30 abril 2018.

Battist, M.V.;Campana-Filho, S. P. Obtençãoe caracterização de  $\alpha$ -quitina e quitosanas de cascas de *Macrobrachium rosebergii*. Quim. Nova, Vol. 31, No. 8, p. 2014-2019, 2008.

Borsari, F., As novas tecnologias permitem o consumo dos nutrientes pelas plantas de forma gradativa, lenta e controlada. Agro DBO, p 54-57, junho 2013.

CONAB, Acomp. safra bras. grãos, v. 4 Safra 2016/17 - Sétimo levantamento, Brasília, p. 1-160, abril 2017.

Campana-Filho, S. P. et al. Extração, estruturas e propriedades de  $\alpha$ - e  $\beta$ -quitina, Quim. Nova, Vol. 30, n°.3, p 644-650, 2007.



Dias, S. F.; Queiroz, D. C., Um sistema simples para preparação de microesferas de quitosana, *Quim. Nova*, Vol. 31, n° 1, p 160-163, 2008.

Ifuku, S. et al. Preparation of zwitterionically charged nanocrystals by surface tempo-mediated oxidation and partial deacetylation of chitin. *Carbohydrate Polymers*, Vol. 122 p. 1–4, 2015.

Kubitza, F. Aquicultura no Brasil conquistas e desafios. *Panorama da Aquicultura*. v. 25, n° 150, julho-agosto 2015. Disponível em: <[http://www.panoramadaaquicultura.com.br/paginas/paginas/03\\_indice/antigos.asp](http://www.panoramadaaquicultura.com.br/paginas/paginas/03_indice/antigos.asp)>. Acesso em: 20 Mai. 2017.

Machado, V. J. Resposta da cultura do milho aos fertilizantes fosfatados e nitrogenados revestidos com polímeros. 2012. 60 f. Dissertação (Mestrado, área de concentração em Solos). Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, Minas Gerais, 2012.

MACÊDO, C. da S. Extrato de camarão (*Litopenaeus vannamei*) obtido a partir do cefalotorax com co2 pressurizado, 2008. 127 f. Dissertação (Mestrado, Ciência e Tecnologia de Alimentos). Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Instituto de Tecnologia da Universidade Federal do Pará, Belém, Pará, 2008.

Messa, L. L. et al., Híbrido de quitosana e argila para encapsulamento e liberação sustentada do fertilizante nitrato de potássio, *Quim. Nova*, Vol. 39, n° 10, p. 1215-1220, 2016.

Oliveira, H. M. L; et al. Estudo da produção de quitosana a partir do resíduo da casca de camarão por biofermentação. 9° Congresso Latino-Americano de Órgãos Artificiais e Biomateriais (COLAOB), Foz do Iguaçu-PR. Agosto-2016.

Santos, J. E. et al. - Caracterização de quitosanas comerciais de diferentes origens, *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, vol. 13, n° 4, p. 242-249, 2003.

Silva, A. A. M. Estudo sobre a flotação de silicatos em coluna para o processo de concentração da apatita, 2005. 131 f. Dissertação (Mestrado, área de concentração e desenvolvimentos de processos químicos). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, Minas Gerais, 2005.

Silva, R. C. Eficiência agrônômica de fertilizantes fosfatados com solubilidade variada, 2013. 166 p. Tese (Doutorado, área de concentração: solos e nutrição de plantas), Programa de Pós-Graduação, Escola Superior de Agriculultura “Luiz Queiroz”, Piracicaba-SP, 2013.

Silverstein, R. M. et al. Identificação espectrométrica de compostos orgânicos. 7° Ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012.

ISLAM, et al. Waste loading in shrimp and fish processing effluents: potential source of hazards to the coastal and nearshore environments. *Marine Pollution Bulletin*, vol. 49, p. 103-110, 2004.

Souza, C. H. E. Fosfato monoamônio revestido com polímeros no plantio das culturas de milho irrigado e cana-de-açúcar 2012. 92 f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, Minas Gerais, 2012.

Stauffer, E. Fertilizantes de eficiência aumentada: adsorção e fluxo difusivo de fósforo, 2016. 79 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias, Alegre, Espírito Santo, 2012.

Santos, J. E. et al. - Caracterização de quitosanas comerciais de diferentes origens, *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, vol. 13, n° 4, p. 242-249, 2003.

Trenkel; M. E. Slow and controlled-release and stabilized fertilizers: An Option for Enhancing Nutrient Efficiency in Agriculture. International Fertilizer Industry Association, 2nd ed. Paris, France, 2010.

Vázquez, J. A. et al. Optimization of high purity chitin and chitosan production from *Illex argentinus* pens by a combination of enzymatic and chemical processes, *Carbohydrate Polymers*, n° 174, p. 262–272, 2017.

Wu, L. ;Liu, M. Preparation and properties of chitosan-coated NPK compound fertilizer with controlled-release and water-retention. Carbohydrate Polymers, Vol. 72 p. 240–247, 2008.

## 6. APÊNDICE A

**Abstract.** *The use of phosphate fertilizers in Brazilian soils may result in losses of up to 70% of the total applied. This is caused mainly by the high affinity of this class of fertilizers with ions present in the soil, such as: Fe; Ca and Al. In this context, the proposal of the present work was to develop a fertilizer based on phosphorus and chitosan that is resistant to the factors that affect its yield. The chitosan used was produced from the shells of the shrimp Litopenaeus vannamei that were submitted to the following treatments: (i) pre-treatment; (ii) demineralization with 1 mol.L<sup>-1</sup> HCl solution; (iii) deproteination with 2 mol.L<sup>-1</sup> NaOH solution; (iv) depigmentation with 1% m/v NaClO solution; (v) alkaline deacetylation with 60% w/v NaOH solution. The overall yield of the chitosan production stage was 13.3% and this showed a degree of deacetylation equals to 80.8%. With this material, the fertilizer was produced by the phase inversion method, which resulted in spheres with an average size of 4.0 mm and a satisfactory mechanical resistance when compared to other phosphate fertilizers. The behavior of the fertilizer in the soil was observed for 30 days. In this interval, it presented low solubility and high moisture absorption.*

**Keywords:** *Chitosan, Phosphoric acid, Phosphate fertilizers.*