

UFRRJ

INSTITUTO DE TECNOLOGIA

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E
TECNOLOGIA DE ALIMENTOS**

DISSERTAÇÃO

**Avaliação da estabilidade de vitamina C encapsulada
em amostras de ração para aves obtidas por extrusão**

John Armando Parra Martin

2009



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA
DE ALIMENTOS**

**Avaliação da estabilidade de vitamina C encapsulada em
amostras de ração para aves obtidas por extrusão.**

JOHN ARMANDO PARRA MARTIN

Sob a Orientação do Professor
José Luis Ramírez Ascheri

Dissertação submetida como requisito
parcial para obtenção do grau de
Mestre em Ciências, no Programa de
Pós-Graduação em Ciência e
Tecnologia de Alimentos

Seropédica, RJ
Março de 2009

636.0855

P258a

T

Parra Martin, John Armando, 1976-

Avaliação da estabilidade de
vitamina C encapsulada em amostras de
ração para aves obtidas por extrusão /
John Armando Parra Martin - 2009.

83 f. : il.

Orientador: José Luis Ramirez
Ascheri.

Dissertação (mestrado) -
Universidade Federal Rural do Rio de
Janeiro, Programa de Pós-Graduação em
Ciência e Tecnologia de Alimentos.

Bibliografia: f. 64-74

1. Ave - Alimentação e rações -
Teses. 2. Vitaminas na nutrição animal
- Extrusão - Teses. 3. Vitamina C -
Extrusão - Teses. I. Ramirez Ascheri,
José Luis, 1955-. II. Universidade
Federal Rural do Rio de Janeiro.
Programa de Pós-Graduação em Ciência e
Tecnologia de Alimentos. III. Título.

Bibliotecário: _____

Data: __/__/____

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE
ALIMENTOS**

JOHN ARMANDO PARRA-MARTIN,

Dissertação submetida como requisito parcial para a obtenção do grau de **Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos**, no Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Área de Concentração em Tecnologia de Alimentos.

DISSERTAÇÃO APROVADA EM -----/-----/-----

José Luis Ramírez Ascheri. (D.Sc.) EMBRAPA – CTAA
(Orientador)

Carlos Wanderlei Piler de Carvalho. (Ph.D.) EMBRAPA – CTAA
(Membro)

Diego Palmiro Ramirez Ascheri. (D.Sc.) UEG – Goiânia
(Membro)

Cristina Yoshie Takeiti (D.Sc.) EMBRAPA – CTAA
(Suplente)

TIERRAS DE CRISTAL

"Aquellas dos imágenes le habían entrado por los ojos como la instantánea percepción de la felicidad absoluta y sin condiciones. Se las llevaría consigo para siempre. Porque es así como te fastidia la vida. Te pilla cuando todavía tienes el alma adormecida y siembra en su interior una imagen, o un olor, o un sonido que después ya nunca puedes sacarte de encima. Y aquélla era la felicidad. Lo descubres después, cuando ya es demasiado tarde. Y ya eres, para siempre, un exiliado: a miles de kilómetros de aquella imagen, de aquel sonido, de aquel olor. A la deriva. "

Alessandro Baricco

LA CAVERNA

"Hago lo que puedo, comprendo que hay cosas que están huyéndome de las manos y otras que amenazan hacerlo, mi problema es distinguir aquellas por las que todavía vale la pena luchar de esas otras que deben a abandonarse sin pena, o con pena, la peor pena, hija mía, no es la que se siente en el momento, es la que se sentirá después, cuando ya no haya remedio, se dice que el tiempo todo lo cura, no vivimos bastante para hacer esa prueba..."

José Saramago

EL MISTERIO DE LA CRIPTA EMBRUJADA

–Es en verdad curioso –dije– cómo la memoria es el único superviviente del naufragio de nuestra existencia, cómo el pasado destila estalactitas en el vacío de nuestra ejecutoria, cómo la empalizada de nuestras certezas se abate ante la leve brisa de una nostalgia. Nací en una época que ha a juzgo triste. Pero no voy a hacer historia: es posible que toda mi niñez sea amarga. El trascurso de las horas era mi lacónico compañero de juegos y cada noche traía aparejada una triste despedida. De aquella época recuerdo que arrojaba con alegría el tiempo por la borda, en la esperanza de que el globo alzara vuelo y me llevara a un futuro mejor: Loco anhelo, pues siempre seremos lo que ya fuimos."

Eduardo Mendoza

ESO

Extraído de "Despistes y Franquezas"

Al preso lo interrogaban tres veces por semana para averiguar «quien le había enseñado eso». Él siempre respondía con un digno silencio y entonces el teniente de turno arrimaba a sus testículos la horrenda picana.

Un día el preso tuvo la súbita inspiración de contestar: «Marx. Sí, ahora lo recuerdo, fue Marx.» El teniente asombrado pero alerta, atinó a preguntar: «Ajá. Y a ese Marx ¿quién se lo enseñó?» El preso, ya en disposición de hacer concesiones agregó: «No estoy seguro, pero creo que fue Hegel.»

El teniente sonrió, satisfecho, y el preso, tal vez por deformación profesional, alcanzó a pensar: «Ojalá que el viejo no se haya movido de Alemania.»

Mario Benedetti

PASOS DEL PASADO

*Todavía escucho los pasos del pasado
cuando el deseo y yo éramos tan ágiles
que perseguíamos lo bien mirado
y también lo escuchado y lo fingido
oh éramos ágiles como atletas
y hasta olvidábamos lo inolvidable*

*los pasos del pasado sólo se detenían
cuando un mensajero del corazón llamaba
con una queja gutural o un rezo
se detenían porque resbalaban
en el pavimento o las baldosas grises
yo sobre todo en la humedad del llanto*

*los pasos del pasado se fueron de la senda
adrede se desviaron de todas las promesas
no sé por dónde andan / en qué ocaso
se instalaron o quieren quedarse
para crear con método y cautela
los misteriosos pasos del futuro.*

Mario Benedetti

*“Tantas vezes pensamos ter chegado
Tantas vezes é preciso ir além.”*

Fernando Pessoa

**A Violeta y a mi Madre y a Amanda
les Dedico**

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu orientador, D.Sc. José Luis Ramírez Ascheri, pelo apoio e ensinamentos ao longo de todo este trabalho;

Agradeço ao Professor Ph.D. Carlos Wanderlei Piler de Carvalho, pela colaboração ao longo do trabalho.

Agradeço ao Professor D.Sc. Diego Palmiro Ramírez Ascheri, pela colaboração nas análises estatísticas;

À Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), pela oportunidade concedida para a realização do curso e ao corpo docente pelo ensinamento;

Agradeço à Professora Cristina Amourim, do Instituto de Zootecnia da UFRRJ, pela ajuda na formulação da dieta e as gestões para a doação da ração animal;

Agradeço ao Professor Francisco Donatti, pelos contatos;

Agradeço a Embrapa Agroindústria de Alimentos pelo apoio logístico indispensável para a realização deste trabalho;

Agradeço aos estagiários e técnicos que me ajudaram na execução das análises, especialmente a Vanessa e Adriana pelo carinho, e a Jeane e Manuela pela paciência;

Agradeço a CNPq pela concessão da bolsa de estudos;

À minha família e pelo carinho, incentivo constante;

Aos amigos, especialmente a Gislene e a Loirinha, e aos colegas pela amizade e convívio;

A quem me incentivou a percorrer este caminho;

A todos aqueles que tornaram possível a realização deste trabalho.

O meu agradecimento!

RESUMO

PARRA-MARTIN, John Armando. **Avaliação da estabilidade de vitamina C encapsulada em amostras de ração para aves obtidas por extrusão**. 2009. 84p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos). Instituto de Tecnologia, Departamento de Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2009.

Sendo o Brasil o principal exportador mundial de carne de frango e tendo um mercado interno similar ao da China (país com seis vezes a população do Brasil), o interesse por melhorar os parâmetros zootécnicos nas produções de aves é fato. A mortalidade pelo estresse é um fenômeno que vem sendo estudado e reportado na literatura, porém, há interesse em melhorar as taxas de sobrevivência. Dentre as alternativas, a vitamina C exerce uma ação antioxidante no organismo vivo diminuindo o estresse do animal. O desenvolvimento das rações animais é um mecanismo adequado para tentar introduzir ao animal substâncias que possam ajudar na redução dos níveis de estresse gerados pela temperatura alta, bem como nas altas densidades populacionais, reduzindo também os níveis de estresse pelos radicais livres. Por a termolabilidade da vitamina C, elaborar uma ração animal com este composto pode implicar em sua perda, sendo complexo conservá-lo intacto nas suas propriedades quando utilizado o processo de extrusão devido às temperaturas elevadas que são empregadas nele. Assim, objetivou-se no presente estudo testar dois diferentes produtos de vitamina C encapsulada: Biocitro® AA e Biocitro® Pó PG, analisando-se a diferentes condições de processamento por extrusão. O delineamento experimental permitiu avaliar os parâmetros e a sua relação com os resultados utilizando a metodologia de superfície de resposta. Foram avaliados os parâmetros umidade, temperatura e rotação do parafuso para definir a estabilidade dos produtos encapsulados com vitamina C na formulação da ração para aves. Nos resultados, as rações extrusadas mostraram valores de índice de solubilidade em água (ISA) que foram afetados significativamente ($p < 0,05$) pelo coeficiente quadrático da temperatura na parte final do barril (113, 120, 130, 140, 147°C) diminuindo seu valor. Para o índice de absorção em água (IAA), evidenciou-se que outros fatores influíram na resposta: Para todos os tratamentos o efeito linear da umidade de processamento e a velocidade do parafuso foram comuns, sendo que houve diferenças significativas ($p < 0,05$) que aumentaram seu valor. O tratamento utilizando Biocitro® AA (T1) permitiu otimizar os parâmetros de processamento por ter um coeficiente de regressão de 81,36%, obtendo-se à 147°C de temperatura de barril, 18,5% umidade e 170rpm de velocidade de parafuso, para atingir patamares ideais de absorção de água. Os resultados analíticos com cromatografia líquida de alta eficiência não detectaram níveis quantificáveis de vitamina C em nenhum dos tratamentos estudados. Assim, a adição de Vitamina C encapsulada, na forma de Biocitro® AA e Biocitro® Pó PG, como forma de garantir a inserção de vitamina C nas formulações, não é um procedimento que possa garantir a presença de vitamina C em formulações para aves extrusadas nos tratamentos estudados.

Palavras-chave: Extrusão, Vitamina C, Ração animal, Degradação

ABSTRACT

PARRA-MARTIN, John Armando. **Evaluation of vitamin c encapsulated stability in extruded poultry feed samples**. 2009. 84p. Dissertation (Master of Food Science and Technology). Institute of Technology, Department of Food Science and Technology, Federal Rural University of Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2009.

Brazil is the world's leading exporter of chicken meat and taking an internal market similar to that of China (the country with six times the population of Brazil), interest in improving the zootechnical parameters in the production of poultry is fact. The mortality by the stress is a phenomenon that has been studied and reported in the literature, however, there is interest in improving the survival rates. Among the alternatives, vitamin C exerts an antioxidant action in the living organism by reducing the animal stress. The development of animal feed is an appropriate mechanism to try to introduce the animal substâncias that may help with the levels of stress caused by extreme temperatures and high densities, lower levels of stress generated by the production of free radicals. Due to the termolability of vitamin C, to produce a feed with this compound may involve complex and its loss to keep it intact in its properties when using the extrusion process due to high temperatures that are employed therein. The objective of this study was the testing two different products of vitamin C encapsulated: Biocitro® AA and Biocitro® Powder PG in different conditions of extrusion processing. The experimental design allowed evaluating the parameters and their relation with the results using the response surface methodology. The parameters evaluated: moisture, temperature and screw speed rotation where used to verify the stability of encapsulated products with vitamin C in the feed poultry formulation. Results in the extruded formulations showed the water solubility index (WSI) which were affected significantly ($p < 0.05$) by the square coefficient of barrel temperature. For the water absorption index (WAI), it was found that other factors influenced the response. For all treatments were the common linear effect of moisture and the processing screw speed, there were significant differences ($p < 0.05$). Treatment using Biocitro® AA (T1) allowed optimizing the processing parameters with a high regression coefficient (0.81359), obtaining the 147°C barrel temperature, 18.5% moisture and 170rpm speed screw, to achieve optimal levels of water absorption index. Analytical results with high performance liquid chromatography detected no measurable levels of vitamin C in any of the treatments. Thus, the addition of vitamin C encapsulated in the form of Biocitro® AA and Biocitro® Powder PG in order to ensure the inclusion of vitamin C in the formulations, under treatments studied is not a procedure that can guarantee the presence of vitamin C in formulations for extruded feed poultry.

Keywords: Extrusion, Vitamin C, animal, Degradation

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	OBJETIVOS	1
1.1.1	Geral	1
1.1.2	Específicos	1
2	REVISÃO DE LITERATURA	2
2.1	Extrusão Termoplástica	2
2.1.1	Testes Preliminares	3
2.1.2	Parâmetros do processo de extrusão	6
2.2	Mercado de Aves	9
2.3	Vitamina C	11
2.4	Vitamina C Versus Aves	13
2.5	Mercado de Ração Animal no Brasil	14
3	MATERIAL E MÉTODOS	17
3.1	Testes Preliminares	17
3.2	Matéria-Prima	17
3.3	Equipamentos	19
3.4	Métodos	19
3.4.1	Granulometria	19
3.4.2	Determinação da composição centesimal	20
3.4.3	Determinação de micro nutrientes	20
3.4.4	Determinação da composição de aminoácidos	20
3.4.5	Obtenção e condicionamento das misturas	20
3.4.6	Condições do processo	21
3.4.7	Processamento	21
3.4.8	Determinação de ISA e IAA	22
3.4.9	Determinação Vitamina C – CLAE	23
3.5	Delineamento Experimental e Análise Estatística	25
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	29
4.1	Mistura da Ração Animal, Ensaios Definitivos	29
4.2	Classificação Granulométrica	30
4.3	Composição Centesimal da Ração Animal	31
4.4	Composição em Micro Nutrientes	32
4.5	Composição em Aminoácidos	34
4.6	Caracterização Física da Ração do Ensaio Final	35
4.6.1	Índice de Solubilidade Água ISA	35
4.6.2	Índice de absorção de água IAA	42
4.7	Resultados Cromatográficos de Vitamina C	58
5	CONCLUSÕES	61
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	62
7	GLOSSÁRIO	74

1 INTRODUÇÃO

O intuito no processamento de alimentos é satisfazer a demanda dos consumidores na procura destes por qualidade com o mínimo custo para quem produz. Aquela qualidade engloba a satisfação das necessidades de quem compra visando no produto atributos sensoriais, valor nutricional, propriedades físicas e químicas, níveis microbiológicos e toxicológicos, estabilidade entre outros.

Na atualidade, o consumidor esta se preocupando pela origem dos alimentos que consome visando à preservação da sua saúde e da sua família; além disso, ele também procura a conservação do ambiente (produção sustentável) e é ali onde os cientistas em tecnologia de alimentos devem proporcionar alternativas conforme essas necessidades.

Os produtores de alimentos de origem animal sempre estão à procura da diminuição dos custos de produção sem diminuir a qualidade; nesse sentido, sendo que as maiores perdas nos sistemas de produção de aves no mundo inteiro são ocasionadas pela mortalidade no sistema produtivo, seja pelas doenças quanto pelo estresse, procura-se alternativas que dêem uma solução a estes problemas. Assim, a preocupação dos fabricantes de ração é conseguir formulações biologicamente ativas. Por isso, sendo que existe um interesse pelo incremento da produção, a adição de vitamina C, diminui os níveis de estresse nas aves, sendo que a sua ação antioxidante apresenta um sinergismo junto com polifenóis.

Objetivou-se, no presente estudo, avaliar dois produtos que continham vitamina C encapsulada, feitos de extratos cítricos bioestabilizados, conhecidos comercialmente como Biocitro® AA e Biocitro® Pó PG, em um produto tipo ração animal obtido por extrusão termoplástica em diferentes condições de processo. O delineamento experimental permitiu avaliar a relação dos parâmetros com os resultados utilizando a metodologia de superfície de resposta. Alguns os parâmetros avaliados foram a umidade, a temperatura, a configuração de rosca e o diâmetro da matriz. As rações extrusadas dos diferentes testes foram avaliadas quanto ao teor de vitamina C utilizando cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE). Os extrusados também foram avaliados quanto as suas características físico-químicas: a composição centesimal, o índice de solubilidade e o índice de absorção de água.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Geral

O objetivo deste trabalho foi investigar a estabilidade da vitamina C encapsulada em um produto extrusado tipo ração animal.

1.2.2 Específicos

1. Determinar os parâmetros de extrusão para uma formulação para aves
2. Analisar a estabilidade da vitamina C de um produto conhecido comercialmente como Biocitro®, inseridos na formulação de um produto extrusado tipo ração para aves.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Extrusão Termoplástica

A extrusão termoplástica é uma ferramenta tecnológica de múltiplas aplicações, tanto para o preparo de alimentos prontos (*snacks*, macarrão), como para a produção de novos ingredientes para a indústria de alimentos (amidos modificados, farinhas pré-cozidas para uso em panificação, proteínas vegetais texturizadas); usa-se também para gelatinizar farinha de cereais e atualmente é adotado industrialmente para o processamento de flocos para o café da manhã (cereais matinais), lanches, texturização de proteína (soja), ração para animais domésticos (cães, gatos, aves, peixes), etc. (FERNANDES DE AGUIAR VALIM; BATISTUTI, 2000).

A extrusão de alimentos é um processo no qual a matéria-prima é forçada através de uma matriz ou molde, em condições de mistura, aquecimento, pressão e fricção que levam a gelatinização do amido. Durante o processo de extrusão ocorre a gelatinização, cozimento, fricção molecular, mistura, pasteurização e secagem (ASCHERI, 2007).

Na gelatinização do amido, assim como de qualquer outro produto granular ou farináceo, um tipo de extrusor que é muito usado é o de rosca simples. O extrusor (Figura 1) é composto de várias partes, sendo o parafuso ou rosca sem-fim uma das mais importantes. O parafuso possui varias seções, para facilidade da operação e manuseio. Ali, se desenvolve uma alta pressão que força o material em direção à matriz. Durante este trajeto, a temperatura se eleva e o amido gelatiniza. Ao deixar o extrusor, a pressão decresce violentamente e a água se vaporiza instantaneamente, provocando uma expansão no material extrusado. A temperatura da câmara de extrusão é mantida por vapor ou por resistências elétricas.

Outras partes do extrusor, como a matriz, também definem o grau de pressão interna e característica final do produto. São vários os parâmetros que se devem controlar, dentre os principais pode-se considerar os seguintes: taxa de alimentação temperaturas das seções e velocidade de rotação do parafuso.

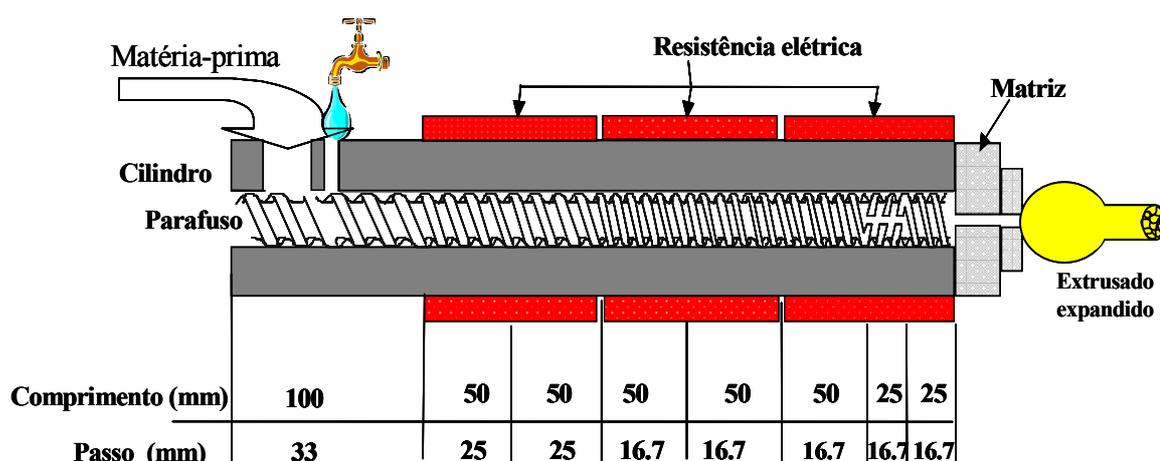


Figura 1. Esquema de um sistema de extrusão.

Fonte: ASCHERI, 1997

Este processo tem ganhado popularidade por ser um processo econômico, maleável e de fácil adaptação, que requer um mínimo de ajustes operacionais; é usado na elaboração de

uma ampla variedade de produtos com diferentes formas, sabores, textura e qualidade nutricional; tem pouco requerimento de espaço, há cocção rápida em altas temperaturas, reduzindo ou, até, eliminando microorganismos, inativando substâncias antinutricionais, há ausência de efluente, um menor tempo de processamento e tem uma ação conjunta de operações unitárias (mistura, cisalhamento, cozimento e outras) em um único processo, sendo que pode ser escolhido o grau de cozimento do material amiláceo desde cru até bem cozido. (ASCHERI, 2007). Assim, além de tudo o que foi descrito, o processo de extrusão tem uma grande capacidade para produção contínua e em larga escala (CANO *et al.*, 2005; FELLOWS, 2006; SILVA, 2007; COSTA, 2004).

Estão envolvidos neste processo uma ampla faixa de operações que incluem processos termo-mecânicos e termo-químicos como cortes, reações de Maillard, desnaturação das proteínas e hidrólise, resultando em modificações físicas e químicas assim como modificação nutricional das matérias primas (ATHAR, 2006).

A extrusão é chamada de processo HTST (do inglês *High Temperature Short Time*) ou processo de temperatura elevada por curto tempo permitindo a redução de contagens microbianas e permitindo inativação de algumas enzimas (FELLOWS, 2006).

Assim, quando esta se produzindo ração animal é necessária a mistura de vários ingredientes, visando o atendimento das exigências nutricionais do animal no intuito de maximizar o sistema de produção, sendo que cada um dos ingredientes fornece um determinado nutriente. Assim, o milho esta fornecendo uma fonte de energia e vitamina A, e o farelo de soja, a proteína (GUERREIRO, 2007). A peletização da ração aumenta a digestibilidade dos nutrientes pela ação mecânica e pela temperatura do processo. No caso dos carboidratos, a digestibilidade aumenta, pois a temperatura propicia a ruptura dos grânulos de amilose e amilopectina, facilitando a ação enzimática. Os processos térmicos também promovem alterações das estruturas terciárias naturais das proteínas, facilitando sua digestão posterior (DOZIER, 2001).

A extrusão de ração animal evita com que os animais façam uma escolha dos ingredientes que foram formulados na ração, obrigando a ingestão de todos os ingredientes. Durante a peletização há uma melhoria da digestibilidade devido à gelatinização da porção amilácea, porém o amido é quebrado em moléculas menores, mais absorvíveis pelos animais e mais estáveis em água (GUERREIRO, 2007). Assim, a intensidade do tratamento térmico determinará o grau de modificação do amido (gelatinização), a disponibilidade do conteúdo celular para digestão e absorção e a pasteurização da mistura alimentar (LUCHT, 2002).

No caso da vitamina C no processamento podem ter influência alguns fatores que afetem as características físicas, químicas, nutricionais do produto (TIMOUMI, 2007). A vitamina C é um produto termolábil que depende de condições do meio como a temperatura e a atividade de água razão pela qual o processo de extrusão leva a perda deste composto.

2.1.1 Propriedades funcionais e parâmetros da extrusão

Sabe-se que o amido está contido em uma grande variedade de plantas, tais como: cereais (50-80%), leguminosas (25-50%) e tubérculos (60-95%). A relação amilose/amilopectina nos alimentos é bastante variável, podendo se apresentar diferente conforme a produção dentro a mesma espécie. Hoje em dia é de amplo conhecimento que há técnicas de engenharia genética que são capazes de produzir amidos com diferentes

quantidades de amilose e amilopectina (FAO/OMS/WHO, 1985). Também, sabe-se que o conteúdo de amilose/amilopectina afeta intensamente as propriedades funcionais do amido. A amilopectina é o maior componente de muitos amidos e sua estrutura tem um papel crítico nas características dos mesmos. As cadeias ramificadas também afetam a gelatinização, retrogradação, dextrinização e as propriedades funcionais da viscosidade de pasta de amido (JANE, 1999).

O fenômeno da gelatinização foi descrito como o processo onde os grãos de amido suspensos em água, são aquecidos até atingir o rompimento da sua estrutura, sendo específica para amidos de diferentes origens (BOBBIO; BOBBIO, 1995). Em geral a gelatinização do amido ocorre a diversas temperaturas (SOUZA, 2002) em função da fonte. Assim, quando há uma presença de excesso de água, supõe a ruptura da estrutura inicia do amido. Este processo tem lugar entre 50 – 80°C com uma entalpia de 7 – 11 J/g dependendo da origem do amido. A gelatinização é, no final das contas, o processo de transformação do amido granular em pasta viscoelástica (SOUZA; ANDRADE, 2000).

A temperatura de extrusão e a umidade inicial da matéria-prima são consideradas como as variáveis com maior efeito na gelatinização do amido, sendo que o grau máximo de gelatinização e cisalhamento ocorrem quando essas variáveis agem com valores extremos opostos. Já quando ambos os valores são altos ou baixos, ocorrem baixos graus de gelatinização (LAWTON, 1972).

O processo da retrogradação acontece quando soluções de amido são resfriadas à temperatura ambiente, ou mesmo temperaturas mais baixas, havendo a formação de géis ou de precipitados microcristalinos (FENNEMA, 2000).

Na dextrinização o amido sofre hidrólise, seja por aquecimento, pela presença de catalisadores ou enzimas, formando as dextrinas que são compostos com estrutura química semelhante à do amido, porém de menor massa molecular. Elas perdem as suas propriedades e não espessam, nem gelatinizam tão bem durante a cocção como o amido original (GRISWOLD, 1972; BOBBIO; BOBBIO, 1995; SOUZA, 2002)

Em condições limitadas de água, é provável que a umidade absorvida pelo grânulo seja primeiramente associada dentro das regiões amorfas. Outras porções do grânulo de amido, tendo conteúdo de umidade baixo, permaneceriam inalteradas ou se tornariam dextrinizadas dependendo das condições de tempo e temperatura dentro do extrusor. (GÓMEZ, 1997).

Durante o processo de extrusão, ocorre a solubilização do amido sem a formação de maltodextrina e o amido solubilizado retém a sua forma macromolecular. No entanto, com o aumento da temperatura e a diminuição do teor de umidade a quantidade de amido solubilizado cresce, indicando que um maior cisalhamento induziu a uma maior dextrinização, aumentando o teor de sólidos solúveis (MERCIER; FEILLET, 1975).

A transformação de um produto pode ser avaliada através de vários testes a fim de se observar as possíveis alterações ocorridas no produto durante o processo da extrusão, já que existe uma gama de variáveis que interferem e complexos fenômenos que ocorrem durante o processo (BORGES, 2002).

A propriedade funcional pode ser definida como uma propriedade tecnológica específica que influencia na aparência física e no comportamento de um produto alimentar, de uma

maneira característica e que resulta da natureza intrínseca físico-química da matéria-prima protéica. As propriedades funcionais dependem muito do peso molecular, composição de aminoácidos, estrutura e reatividade da proteína. Em muitos casos, os componentes não protéicos afetam também as propriedades funcionais (BORDERÍAS; MONTERO, 1988; MAIA, 2000; BORGES, 2002).

As características funcionais dos amidos podem ser alteradas pelas condições de extrusão, dependendo dos parâmetros operacionais utilizados no processo (umidade inicial, temperatura de extrusão, rotação e configuração de rosca, diâmetro da matriz e fluxo de massa), dos parâmetros do sistema (grau de cisalhamento, temperatura do produto, tempo de residência e pressão do sistema) e dos parâmetros estruturais (relacionados à matéria-prima) (MERCIER; FEILLET, 1975; HARPER, 1981; LINKO *et al.*, 1981; GUY; HORNE, 1988; ASCHERI, 1994; GÓMEZ, 1997; RIBAS *et al.*, 2000; GUY, 2002; BORGES, 2002).

Alguns dos fatores ligados à matéria-prima como teor de umidade, proporção de amilose e amilopectina, conteúdo de proteína, lipídios, fibras, amido, tamanho de partículas, entre outros exercem grande influência no produto acabado (LINKO *et al.*, 1981; HARPER, 1981; CHEFTEL, 1986; CHINNASWAMY; HANNA, 1988; CARVALHO, 2000; GONZÁLEZ *et al.*, 2002). Aspectos como o tamanho das partículas das matérias-primas estão intimamente ligados com o processo de moagem (MATHEW *et al.*, 1999; ASCHERI; CARVALHO 1999).

A distribuição homogênea no tamanho das partículas das matérias-primas tende a apresentar resultados mais satisfatórios nos produtos extrusados durante a etapa do cozimento, prevenindo a dureza e o cozimento parcial, que comprometem a qualidade do produto final desejado. Durante a mistura dos ingredientes e da água, as partículas mais finas tendem a absorver água mais rapidamente que as mais grossas, o que necessita de um tempo de mistura mais prolongado para a homogeneização. Dessa forma, a distribuição ou regularidade no tamanho das partículas é mais importante que o tamanho propriamente dito (WILKINSON; SHORT, 1989; ASCHERI; WANDERLEI, 1997). Assim, o tamanho das partículas juntamente com o teor de umidade da matéria-prima, a temperatura antes da extrusão, a variação da pressão antes da expansão e o diâmetro da matriz, afetam o índice de expansão dos produtos extrusados (LINKO *et al.*, 1981; ASCHERI; WANDERLEI, 1997).

Por outra parte, os propriedades funcionais durante a extrusão do amido sofrem algumas alterações estruturais significativas como gelatinização, dextrinização, retrogradação e degradação, resultando em mudanças nos Índices de Solubilidade em Água e de Absorção de Água (ANDERSON *et al.*, 1969; COLONNA *et al.*, 1984; GOMEZ ; AGUILERA, 1983; ASCHERI; WANDERLEI, 1997).

O ISA indica quão drástico foi o tratamento térmico e a conseqüente desramificação da estrutura do amido em moléculas de menor massa molecular. Já o IAA é outro teste que quantifica a água absorvida pelos grânulos de amido de uma determinada amostra quando submetida a tratamento térmico. Sua importância relaciona-se com o grau de desnaturação e dextrinização dos grânulos de amido do extrusado. Correlaciona-se ainda com a viscosidade da pasta a frio, pois apenas os grânulos de amido danificados absorvem água à temperatura ambiente, resultando no aumento da viscosidade. Após atingir um máximo, com relação ao grau de amido danificado, o IAA diminui com o início da dextrinização (ANDERSON *et al.*, 1969).

Estudando os efeitos das variáveis do processo de extrusão do amido de milho através da gelatinização, do ISA e IAA, verificou-se que o ISA aumentou com a elevação da temperatura e a umidade das amostras, enquanto o IAA aumentou com o incremento da temperatura até um valor máximo e diminuiu a seguir devido à excessiva dextrinização (OWUSU-ANSAH *et al.*, 1983).

As propriedades de IAA e ISA são indicadoras dos fenômenos que ocorrem na extrusão (LINKO *et al.*, 1981). Durante a extrusão, o grânulo de amido gelatinizado, perde a integridade e também a sua capacidade de inchar quando aquecido em água, o que provoca diminuição da viscosidade à quente (95°C), aumento da tendência a absorver água à temperatura ambiente, aumentando, conseqüentemente, a viscosidade a frio (30°C) e a absorção de água. A liberação de cadeias de amilose e amilopectina aumenta o ISA (EL-DASH *et al.*, 1984; GOMEZ; AGUILERA, 1984).

2.1.2 Parâmetros do processo de extrusão

A seleção do extrusor é tão importante para o sucesso do experimento ou a elaboração de um produto, quanto às matérias ou o desenho experimental ou público alvo. Alguns parâmetros são indicadores do processo de extrusão tais como: pré-condicionamento, configuração dos parafusos, velocidade dos parafusos, temperatura do cilindro, adição de água, configuração da matriz (ASCHERI, 2007).

a) Velocidade do(s) parafuso(s)

Uma velocidade maior se traduz em uma maior taxa de cisalhamento e, assim, em um maior grau de cozimento do material. Tem-se verificado que em condições de temperatura e umidade constantes, o índice de expansão aumenta com o aumento da velocidade de alimentação até atingir um máximo e, então declina consideravelmente (Figura 2) (ASCHERI, 1997).

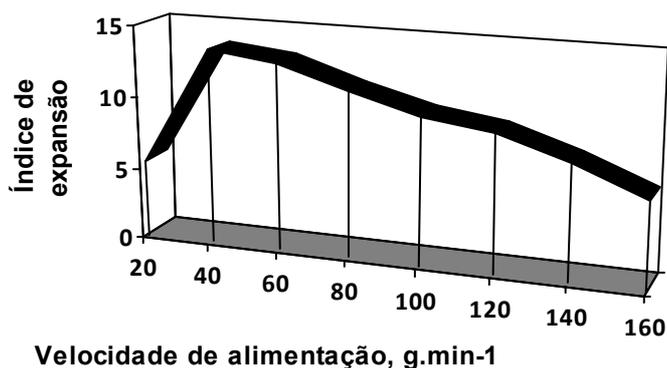


Figura 2. Efeito da velocidade de alimentação no índice de expansão (MERCIER E FEILLET, 1975).

b) Temperatura do cilindro

A baixa temperatura de extrusão, a expansão diametral é reduzida, porque o amido não é totalmente fundido, dando uma expansão longitudinal também reduzida. À medida que a temperatura aumenta, o grau de expansão atinge um máximo a cerca de 170°C, independentemente do equipamento usado. O decréscimo da expansão, a temperaturas

maiores (Figura 3), é atribuído à dextrinização excessiva e ao enfraquecimento da estrutura do amido (ASCHERI, 1997).

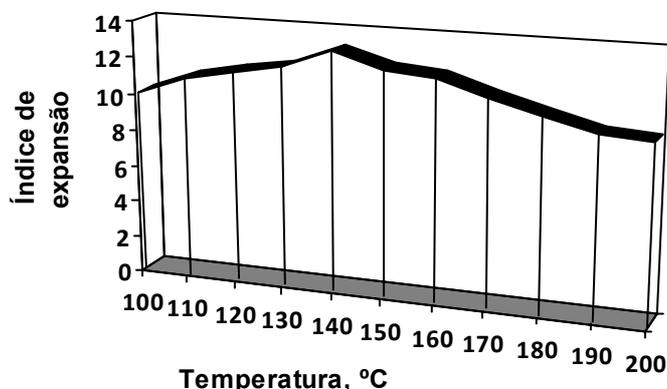


Figura 3. Efeito da temperatura no índice de expansão. (CHINNASWAMY E HANNA, 1988).

c) Adição De Água

Segundo Ascheri (1997), o aumento do conteúdo inicial de água acarreta normalmente o decréscimo na viscosidade do produto, que tem como primeiro efeito o abaixamento da geração de calor e, como segundo efeito, o decréscimo da pressão do produto na saída pela matriz. Isto explica porque temperatura e pressão decrescem quando o conteúdo de água aumenta. Devido ao decréscimo na temperatura, a transformação do produto é geralmente também diminuída. O trabalho feito por Chiang (1977), usando extrusor Brabender de rosca única, mostrou que a gelatinização do amido decresceu ligeiramente com o aumento do conteúdo de umidade a baixas temperaturas de extrusão (65 e 80°C) (Figuras 4 e 5); porém, a temperaturas mais altas (95-110°C), o aumento do conteúdo de umidade aumentou significativamente a gelatinização do amido (Figuras 6 e 7).

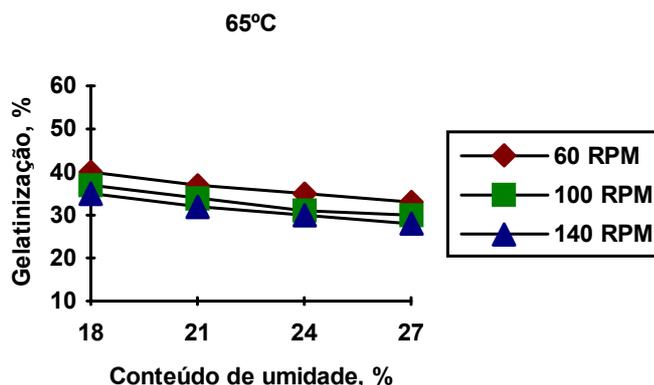


Figura 4. Efeito do conteúdo de umidade inicial na gelatinização do amido (a 65°C), Chiang (1977).

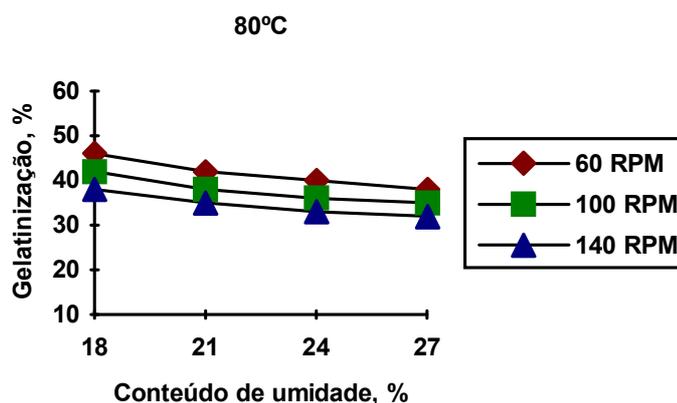


Figura 5. Efeito do conteúdo de umidade inicial na gelatinização do amido (a 80°C), Chiang (1977).

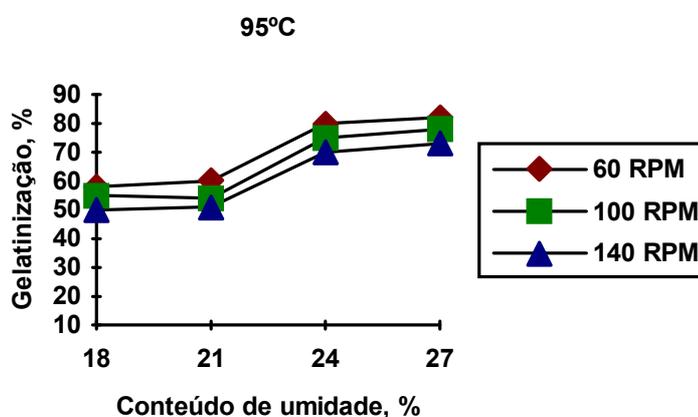


Figura 6. Efeito do conteúdo de umidade inicial na gelatinização do amido (a 95°C), Chiang (1977).

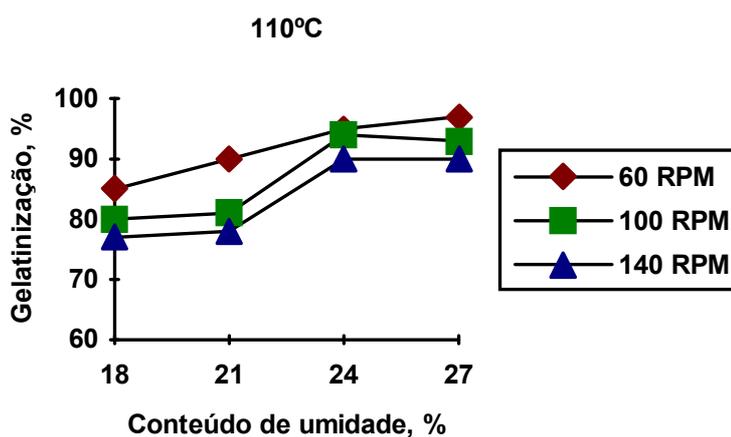


Figura 7. Efeito do conteúdo de umidade inicial na gelatinização do amido (a 110°C), Chiang (1977).

d) Configuração da matriz

A matriz, além de responsável pelo formato final do extrusado, tem também a importante função de restringir (limitar) o fluxo do material em extrusão, causando o desenvolvimento de pressão e cisalhamento necessários antes da saída do produto. Esses efeitos produzidos pela

matriz podem ser maiores ou menores, dependendo do tipo de produto que se deseja produzir. Para a produção de alimentos expandidos e secos para animais, a matriz final pode ser simples, composta de uma peça única contendo um número pré-determinado de orifícios.

Entretanto, para a produção de “snacks” e “breakfast cereals”, a matriz pode ser composta de duas ou mais peças, onde a primeira aumenta a resistência ao fluxo e ajuda a aumentar o cisalhamento do produto extrusado, e segunda tem a função de dimensionar e dar forma ao extrusado forçando-o a passar através de um número pré-determinado de orifícios.

No trabalho feito por Chiang (1977), usando extrusor de rosca única, foi estudado o efeito do tamanho da matriz do extrusor na gelatinização do amido. Foi usada farinha de trigo condicionada a 20% de umidade, rosca com taxa de compressão de 3:1, 100 rpm e temperatura de 100°C. Nestas condições foi observado que, à medida que o tamanho da matriz aumentou, a gelatinização do amido diminuiu (Figura 8). Provavelmente os decréscimos na pressão e no grau de cisalhamento causaram diminuição da gelatinização do amido devido ao menor tempo de residência da farinha no extrusor (ASCHERI, 1997).

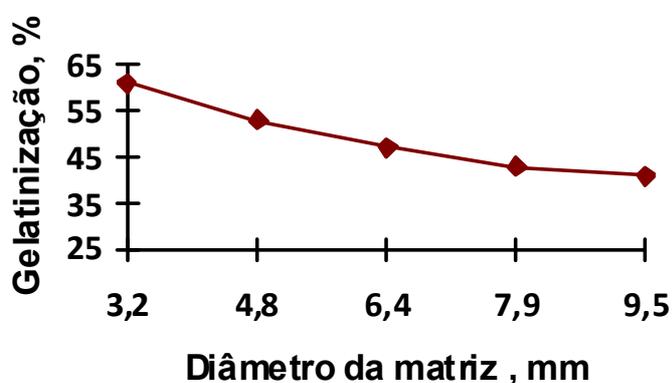


Figura 8. Efeito do diâmetro da matriz na gelatinização do amido, Chiang (1977).

2.2 Mercado de Aves

O frango de corte ocupa um lugar em destaque dentro de outros animais produtores de alimentos devido ao fato de transformar produtos de origem vegetal em proteína de alta qualidade (RAMOS *et al.*, 2006) sendo que na produção destes, 80% dos custos totais corresponde aos gastos com alimento.

A produção de frango é um sistema que tem avançado muito nos últimos, tornando-se uma eficiente e eficaz maneira de obtenção de proteína para garantir a segurança alimentar da população mundial, devido principalmente a fatores como seu rápido crescimento.

A demanda de proteínas de origem animal em um mundo com quase sete bilhões de pessoas, leva os produtores à otimização da produção. Maior produtividade se traduz em maior quantidade de proteína por unidade de área para atingir as demandas baixando os custos de produção, porém obtendo rendas desejáveis. A ocorrência de doenças por abusos na densidade é só uma das causas que podem fazer com que o animal se estresse e reduza o seu rendimento (ou Índice de Conversão Alimentar - ICA-: kg de alimento consumido·kg de peso ganho⁻¹).

O frango é um dos principais mercados do Brasil. Segundo a Associação Brasileira dos Produtores e Exportadores de Frango (ABEF) a tendência histórica das exportações deste produto no Brasil aumentou nos últimos anos (Tabela 1), ficando em primeiro lugar com quase a metade destas transações em nível mundial (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS PRODUTORES E EXPORTADORES DE FRANGOS, ABEF, 2009).

abela 1. Exportação mundial de carne de frango principais países (2000 - 2007**) Mil toneladas

ANO	BRASIL	EUA	UE	TAILÂNDIA	CHINA	MUNDO
2000	907	2.231	774	333	464	4.856
2001	1.265	2.520	726	392	489	5.527
2002	1.625	2.180	871	427	438	5.702
2003	1.960	2.232	788	485	388	6.023
2004	2.470	2.170	813	200	241	6.055
2005	2.846	2.360	755	240	331	6.791
2006*	2.713	2.454	620	280	350	6.470
2007**	3.203	2.508	685	280	365	6.737

Fonte ABEF, 2009 * Preliminar ** Previsão

UE: UNIÃO EUROPÉIA

As exportações brasileiras de frango, no primeiro bimestre em 2009, chegaram a 538 mil toneladas, sendo que houve uma queda de 5,2% em relação ao mesmo período de 2008. Mesmo assim, a expectativa para esse ano é um crescimento de até 5% nos volumes exportados (ABEF, 2009).

Assim, embarcou-se 271 mil toneladas em cortes de frango, 203 mil toneladas de frango inteiro, e embarques com produtos industrializados somaram 29 mil toneladas. Nas carnes salgadas as estatísticas indicaram, no período, embarques de 34 mil toneladas (ABEF, 2009). Essas exportações tiveram como principais mercados o Oriente Médio (175 mil toneladas), Ásia (126 mil toneladas), a União Européia (90 mil toneladas), África (41 mil toneladas), América do Sul (36 mil toneladas) e Rússia (16 mil toneladas), (ABEF, 2009).

Já no mercado interno, o mercado de frango no Brasil é um dos setores de maior evolução na economia nacional na parte agropecuária tendo também como fato, ser um dos maiores produtores de frango no mundo (ABEF, 2009), ficando em terceiro lugar quando comparado com os mercados internacionais (Tabela 2).

Tabela 2. Produção mundial de carne de frango principais países (1999 - 2007**) Mil toneladas

ANO	EUA	CHINA	BRASIL	UE	MÉXICO	MUNDO
1999	13.367	8.550	5.526	6.614	1.784	47.554
2000	13.703	9.269	5.977	7.606	1.936	50.097
2001	14.033	9.278	6.736	7.883	2.067	52.303
2002	14.467	9.558	7.517	7.788	2.157	54.155
2003	14.696	9.898	7.843	7.512	2.290	54.282
2004	15.286	9.998	8.494	7.627	2.389	55.952
2005	15.869	10.200	9.200	7.736	2.498	59.092
2006*	16.162	10.350	9.336	7.425	2.610	60.090
2007**	16.413	10.520	9.700	7.530	2.724	61.162

Fonte ABEF, 2009 * Preliminar ** Previsão

UE: UNIÃO EUROPÉIA

Assim, o interesse pelos sistemas de produção de aves, é de especial importância para o desenvolvimento do sector pecuário tanto no âmbito mundial como nos mercados brasileiros onde o consumo de frango é um dos maiores mercados internos no mundo ficando em quarto lugar (ABEF, 2009) (Tabela 3).

Tabela 3. Consumo mundial de carne de frango principais países (2000 - 2007**) Mil toneladas

ANO	EUA	CHINA	UE	BRASIL	MÉXICO	MUNDO
2000	11.474	9.393	6.934	5.110	2.163	49.360
2001	11.558	9.237	7.359	5.341	2.311	50.854
2002	12.270	9.556	7.417	5.873	2.424	52.846
2003	12.540	9.963	7.312	5.742	2.627	52.903
2004	13.081	9.931	7.280	5.992	2.713	54.172
2005	13.428	10.088	7.503	6.612	2.871	57.339
2006*	13.817	10.370	7.405	6.622	3.010	58.888
2007**	13.901	10.585	7.490	7.120	3.148	59.744

Fonte ABEF, 2009 * Preliminar ** Previsão
UE: UNIÃO EUROPEIA

2.3 Vitamina C

A vitamina C conhecida também como antiescorbútica pela relação feita com a doença chamada de escorbuto é uma vitamina solúvel na água.; além disso, pela sua inter-relação com as frutas cítricas foi nomeada de ácido hexurônico em 1932 por Szent-Gyorgyi e C.G. King após ter isolado o ácido, que é o fator antiescorbútico (SZENT-GYORGYI, 2008).

Ela também é denominada de composto bioactivo pelo fato que a vitamina C não contribui energeticamente na formação estrutural do organismo; ela é um composto não nutricional que cumpre funções importantes no metabolismo geral. É um alimento funcional, quando colocada em uma mistura para o preparo de alimentos ou em rações (CANO, *et al*, 2005).

Assim, a vitamina C no plasma sanguíneo pode ser influenciada pela matriz do alimento e a sua preparação, fato que afeta a biodisponibilidade (MAYNE, 2003) e o consumo, podendo se predisser a concentração no sangue (VIOQUE, *et al*, 2007). Sua disponibilidade depende das práticas de cocção e manipulação sendo que, as exposições a altas temperaturas tornam-na compostos indisponíveis devido à degradação (MAYNE, 2003).

A vitamina C alivia os efeitos deletérios dos fatores de estresse (SILVA *et al.*, 1993). O estresse oxidativo é um distúrbio no equilíbrio que favorece a oxidação sendo que esse desequilíbrio ocorre pela produção de vários tipos reações, bem como de mecanismos de proteção do organismo para manter a sua estabilidade e prever efeitos adversos (MAYNE, 2003).

Os radicais livres, são agentes reativos patogênicos, que com exceções, apresentam elétrons desemparelhados em sua última camada. Majoritariamente são derivados do metabolismo do oxigênio. Encontra-se em condições fisiológicas do metabolismo celular aeróbio, o O₂ sofre redução tetravalente, com aceitação de quatro elétrons, resultando na formação de H₂O. Durante esse processo são formados intermediários reativos, como os radicais superóxido (O₂⁻), hidropéroxila (HO₂[·]) e hidroxila (OH), e o peróxido de hidrogênio

(H₂O₂). Normalmente, a redução completa do O₂ ocorre na mitocôndria, e a reatividade dos radicais livres é neutralizada com a entrada dos quatro elétrons (FERREIRA; MATSUBARA, 1997). Assim, as lesões oxidativas catalisam as reações de biomoléculas como poder ser observado a seguir no Quadro 1.

Quadro — Eventos relacionados a espécies reativas de O₂[*]
Envelhecimento
Mutações
Câncer
Aterosclerose
Lesão por toxicidade de O ₂ em pulmão e retina
Lesão pós-isquemia e reperfusão de cérebro, coração, pele, intestino, pâncreas, fígado, músculo, rins e pulmões
Lesão pós-concussão cerebral e pós-hipertensão intracraniana
Síndrome demencial
Disfunção renal pós-transplante
Artrite reumatóide
Hemocromatose transfusional
Doenças auto-imunes
Toxicidade decorrente da exposição a xenobióticos

Quadro 1. Eventos relacionados a espécies reativas de O₂
Fonte: Ferreira; Matsubara, 1997

Na inativação de um agente oxidante ocorre produção de Glutathiona oxidada (GSSG) e depleção de Glutathiona reduzida (GSH) (fig. 9). Em situações em que o sistema de óxido-redução está íntegro, haverá recuperação da GSH. Entretanto, sob condições de excesso de agentes oxidantes e/ou deficiência do sistema protetor, haverá desequilíbrio entre o consumo de GSH e a produção de GSSG, o que caracteriza o estresse oxidativo (SHAN ; JONES, 1990; GILBERT; MC LEAN, 1990; HALLIWELL, 1993). Assim, a magnitude do estresse oxidativo pode ser monitorada pela razão GSSG/GSH. Em pulmões de ratos submetidos à hiperoxia por 48 horas, esta razão está significativamente aumentada, quando comparada a de grupo controle não exposto (BEEHLER, *et al.*, 1989).

O excesso de GSSG resulta em ambiente mais oxidante, que favorece a formação de pontes dissulfeto (-SS-) nas proteínas portadoras de grupamento tiol (-SH). As pontes dissulfeto oxidam estas proteínas, com prejuízo de suas funções. Esta oxidação é reversível às custas da ação de compostos antioxidantes, como a GSH (GILBERT; MC LEAN, 1990).

Utilizando-se o eritrócito como célula-alvo, o fenômeno de estresse oxidativo se dá quando a membrana do glóbulo vermelho contém grande número de grupos -SH, e os agentes oxidantes podem converter estes grupos tióis (R-SH) em componentes dissulfeto (R-SSG), levando à desnaturação das proteínas da membrana (GILBERT; MC LEAN, 1990). Neste processo, pode ocorrer lesão intracelular, com oxidação da hemoglobina (Hb) à Meta-Hb, que precipita e forma os corpúsculos de Heinz (RICE-EVANS; BAYSAL, 1987; WINTERBOURN, 1990).

O componente lipídico da membrana eritrocitária está também sujeito à agressão oxidativa. Os produtos desta lipoperoxidação podem induzir o estresse oxidativo intracelular (RICE-EVANS, *et al.*, 1986).

A associação dos fenômenos lipoperoxidação, formação de corpúsculos de Heinz e oxidação dos grupos-SH poderão promover a lesão da membrana do glóbulo vermelho. Se a eficiência do sistema antioxidante for superada pela magnitude destes fenômenos, ocorrerá o estresse oxidativo, que culminará em hemólise. A Figura 9 esquematiza a relação destes processos, considerando o ferro como o agente agressor oxidante e o eritrócito como célula-alvo. No entanto, é possível generalizar este padrão de agressão e defesa celular antioxidante para grande parte dos tecidos do organismo (FERREIRA; MATSUBARA, 1997).

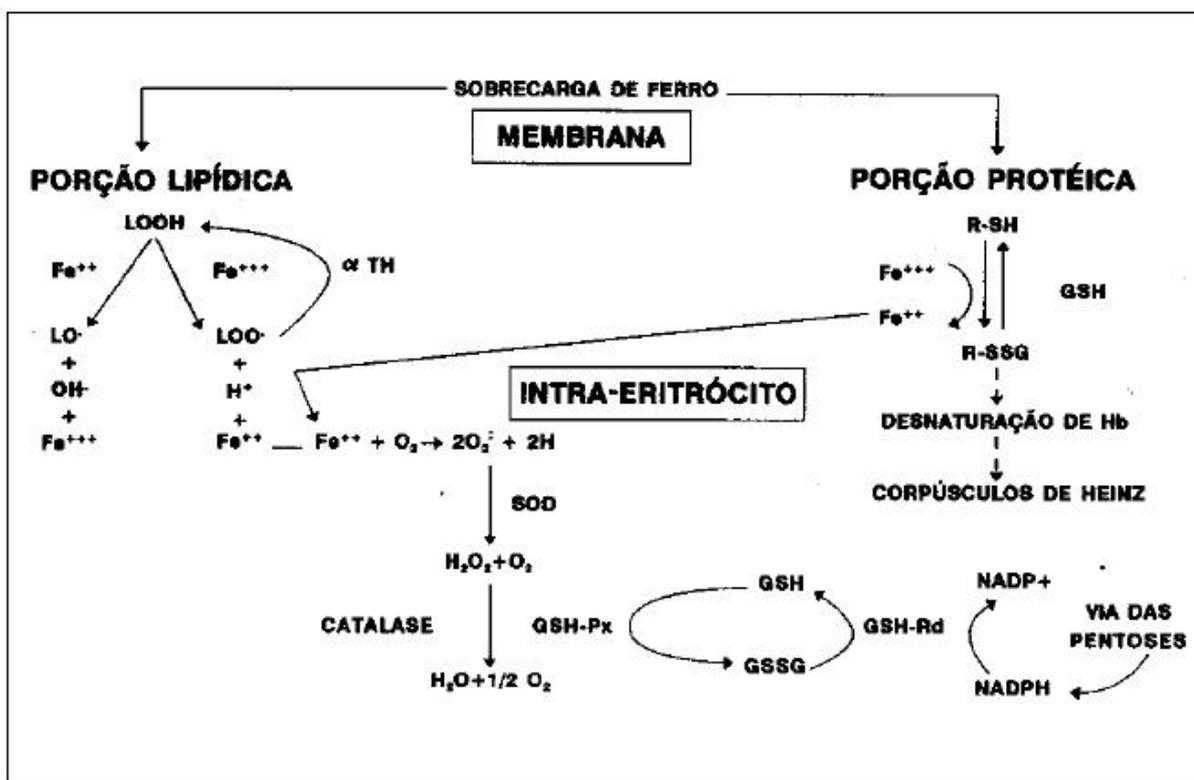


Figura 9. Mecanismo de lesão e proteção eritrocitárias na sobrecarga de ferro. A hemólise poderá ocorrer se a capacidade de defesa antioxidante for superada pela capacidade oxidativa do agente
Fonte: Ferreira; Matsubara, 1997

Assim, o estresse está envolvido na etiologia de muitas doenças, algumas das quais deriva em morbidades e algumas outras ocasiões em mortalidade (MAYNE, 2003). A vitamina C age como antioxidante.

2.4 Vitamina C Versus Aves

Tem sido demonstrado o fato que o estresse é devido ao meio, causa nos animais desequilíbrios metabólicos (GONZALES; MENDONÇA, 2006) e oxidativos (SAHIN, *et al.*, 2001; SAHIN, *et al.*, 2003). Devido à redução dos níveis de antioxidantes (como as vitaminas C e E, ácido fólico, zinco) no plasma do sangue os riscos de estresse no frango são altos, constituindo uma cadeia cíclica que acrescenta esse mesmo risco (SAHIN, *et al.*, 2001). Assim, foi demonstrado que a suplementação destes nutrientes pode ter um efeito protetor na

oxidação de DNA e lipoproteínas de baixa densidade (LDL, ou alfa. Low Density Lipoprotein). Além disso, a enzima paraoxonase diminui sua ação fazendo com que os níveis de açúcar e colesterol no sangue aumentem. O estresse deprime o funcionamento daquela enzima que tem função de promover a secreção de um potente constritor sanguíneo chamado de endotelina, induzida pelo estresse do meio (SAHIN, *et al*, 2003). Desta maneira podem-se reduzir custos de produção, os quais vão refletir nos parâmetros zootécnicos das aves (eficiência, conversão, consumo e ganho de peso), não assim com a manipulação de sistemas térmicos (que são de alto custo) senão com a manipulação das rações.

A vitamina C atua na bursa de Fabrício, melhora a resposta imune e quanto mais distante da idade de abate o estresse ocorrer, mais tempo o animal terá recuperado o que deixou de ganhar durante aquele período (SERRANA, 2007). A Tabela 4 apresenta dados comparativos da ração com e sem adição de vitamina C e o ganho de peso obtido.

Tabela 4. Suplementação de vitamina c para a redução de estresse em aves

Estresse	Ácido ascórbico	Ganho em peso (g)	Consumo de ração (g)
Não	Não	1493	2090
3 e 4 SI	Não	1228	1930
3 e 4 SI	3 e 4 SI	1403	2020
5 e 6 SI	Não	987	1880
5 e 6 SI	5 e 6 SI	1319	2100

SI = Semana de idade;

Fonte: Serrana, adaptado de Nassem, 2007

Muitos estudos têm concluído que os efeitos da vitamina C podem reduzir o estresse pelo ambiente seja pelo frio, ainda pelo calor. Mesmo assim que as aves têm vias metabólicas pela síntese da vitamina C, as condições de estresse (como doenças e outros), diminuem sua ação (GURSU *et al.*, 2004).

O uso da vitamina C traz efeitos sobre os níveis de glicose, uréia, triglicerídeos, colesterol e outras. Também no uso e absorção do ácido fólico, transformando-o de um derivado tetraidratado reduzido para ácido fólico (antioxidante potencial) (HUANG, *et al.*, 2001). Junto com os flavonóides é possível que exerçam uma ação anti-carcinogênica e com efeito protetor do coração, mas se tem certeza acerca dos efeitos antioxidativos.

2.5 Mercado de Ração Animal no Brasil

A atividade pecuária é muito importante para a economia brasileira, sendo desenvolvida em todas as regiões do país. Dentro do setor agropecuário, a alimentação é um aspecto fundamental para a obtenção do máximo desempenho produtivo em uma criação de animais. A indústria de alimentos para animais vem crescendo no Brasil, especialmente em razão do maior número de animais que vem sendo alimentado com rações completas. Também se traduz em uma atividade altamente lucrativa quando bem desenvolvida (CUSTÓDIO *et al.*, 2005).

Esse aumento nos últimos anos é devido ao crescimento da produção de alimentos de origem animal no Brasil (frango para corte, ovos, leite e suínos) no período 1985-94, com destaque para avicultura de corte. Nesse período, as taxas geométricas médias anuais de

crescimento da produção brasileira foram de 9% para frangos de corte; 6% para suínos; 3% para leite e 0,2% para ovos (CARVALHO *et al.*,1995).

Segundo ANFAL/SINDIRAÇÕES (2000), a avicultura e suinocultura juntas consomem quase 90% das rações produzidas no Brasil, sendo por isso cadeias de grande importância dentro do segmento de produção de rações. Para o produtor a alimentação destes animais representa cerca de 70% dos custos de produção, por isso, qualquer atitude que visa garantir aos seus animais dietas com nutrientes em quantidades e proporções requeridos, acarretará em maior produtividade e retorno financeiro (LIMA; NONES, 1997).

A produção de rações em 2008 e para 2009 foi apresentada por SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DE ALIMENTAÇÃO ANIMAL/ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE RAÇÕES -ANFAL/SINDIRAÇÕES- (2009) e é apresentado no Quadro 2.

PRODUÇÃO DE RAÇÕES (milhões tons)			
SEGMENTO	2008	2009*	% 09/08
AVES	32263	33600	4,1
FRANGOS	27638	28744	4,0
POEDEIRAS	4625	4856	5,0
SUÍNOS	15.374	16.143	5,0
BOVINOS	7.321	7.962	8,8
LEITE	4774	5160	8,1
CORTE	2547	2802	10,0
CÃES E GATOS	1990	2100	5,5
EQUINOS	567	600	5,9
AQUACULTURA	324	343	6,0
PEIXES	240	257	7,0
CAMARÕES	84	87	3,0
OUTROS	891	940	5,5
TOTAL	58.730	61.689	5,0
SAL MINERAL	2055	2150	4,6
TOTAL	60785	63839	5,0

Quadro 2. Projeção de rações em 2008 e projeção para 2009.
Fonte: ANFAL/SINDIRAÇÕES (2009).

O Quadro 2 mostra como do total, a maior produção de ração destina-se à produção de frango, sendo que o 85,66% pertence ao setor de frango de corte. Já na Figura 10 podem-se observar os valores desagregados por espécie.

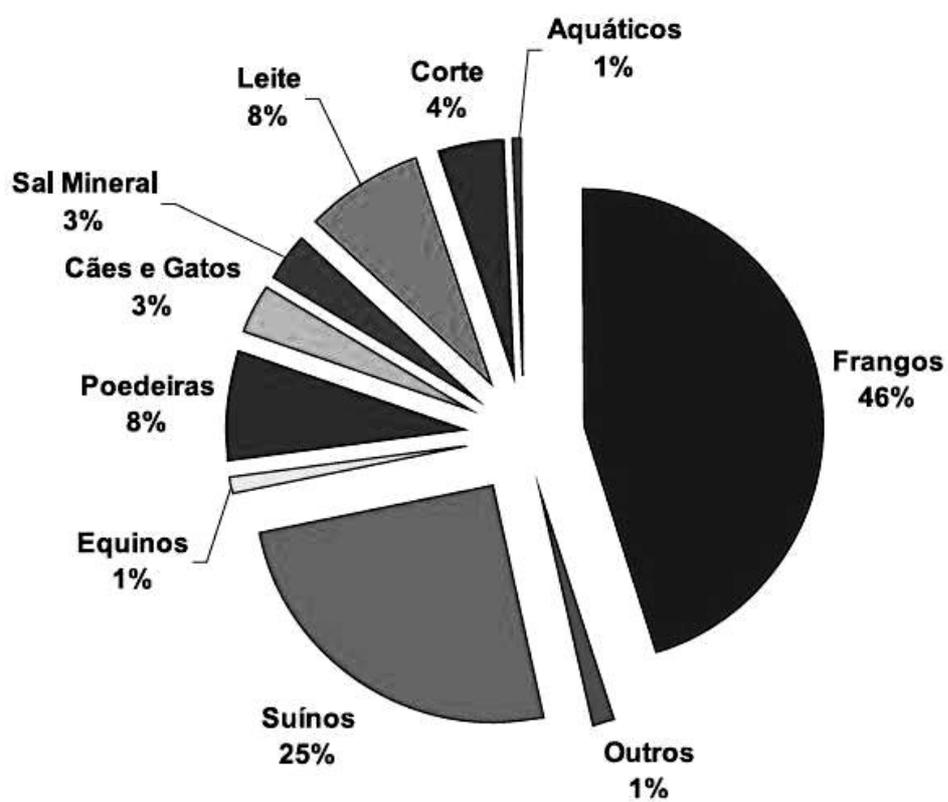


Figura 10. Demanda de rações por espécie animal.
Fonte: ANFAL/SINDIRAÇÕES (2009)

3 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado nos laboratórios de Embrapa Agroindústria de Alimentos, localizado na cidade do Rio de Janeiro (Brasil). Além disso, contou-se com a colaboração de docentes e laboratórios da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro que localizada no município de Seropédica, Estado do Rio de Janeiro, Brasil.

3.1 Testes Preliminares

Foram realizados testes preliminares de qualidade a fim de determinar os parâmetros necessários para o processamento de ração animal, assim como a definição das matérias-primas a serem utilizadas. Foram elaboradas rações com as seguintes matérias primas: grits de milho, fubá de milho, farelo de soja e farinha de carne, gordura, calcário, sal, pré-mix vitamínico e Biocitro®. Para a extrusão dos materiais foram usados os seguintes parâmetros baseados em leituras de trabalho na área e seguindo a indicação do pesquisador responsável pelo estudo: parafuso com taxa de compressão 3:1, temperaturas na zona 3 de 110° - 130° - 150°C, rotação do parafuso de 120rpm e umidade inicial de 21 % em todas as misturas. A ração animal teve duas misturas, grits de milho (60%), farelo de soja (28%) e farinha de carne (5%), junto com os outros componentes. A mistura da ração final teve a seguinte composição fubá de milho (65%) e farelo de soja (27%), além dos outros compostos.

Baseado nos resultados obtidos nos testes de processamento utilizou-se a mistura contendo fubá de milho a qual apresentou melhor comportamento (extrusabilidade) durante a extrusão; foi diminuído em 10°C a diferença entre as três temperaturas durante o processo de extrusão sendo que ficou definido o ponto central em 130°C segundo planejamento experimental (pag. 25).

3.2 Matéria-Prima

Todas as matérias-primas foram obtidas no comércio varejista da cidade do Rio de Janeiro: fubá, farelo de soja, farinha de carne e ossos, calcáreo, pré-mixes vitamínico e mineral, sal comum e óleo de soja.

O pré-mix vitamínico Unimix Hy Broiler para aves foi adquirido da Uniquímica (São Paulo, Brasil) e o pré-mix de minerais da Agrocere Nutrição Animal Ltda (São Paulo, Brasil), para fase de crescimento com a composição apresentada na Tabela 5.

Tabela 5. Composição dos pré-mixes

Ingrediente	Quantidade - Unidade
Vit. A	12 milhões UI
Vit. D3	2.2 milhões UI
Vit. E	30 000 mg
Vit. K3	2 500 mg
Vit. B1	2 200 mg
Vit. B2	6 000 mg
Vit. B6	3 300 mg
Vit. B12	16 000 mcg
Niacina	53 000 mg
Ácido pantotênico	13 000 mg
Biotina	110 mg
Ácido fólico	1 000 mg
Selênio	250 mg
Antioxidante	100 000 mg
Veículo Q.S.P.	1 000g
Fe	105 000 mg
Manganês	120 000 mg
I	2 520 mg
Cu	12 600 mg
Zn	126 000 mg

Fonte: Uniquímica. Agroceres.

A fonte de ácido ascórbico, objeto deste estudo, foi fornecido pela Química Natural Brasileira Ltd. (QUINABRA, São José dos Campos, São Paulo) na proporção de 500mg·kg⁻¹. Duas amostras diferentes contendo Vitamina C foram testadas. A primeira, denominada pelo fornecedor, Biocitro[®] AA (Tratamento T1) e a segunda Biocitro[®] Pó PG (Tratamento T2), quem também forneceu a caracterização dos produtos e que se apresentam nas Tabelas 6 e 7.

Tabela 6. Caracterização físico-química do Biocitro[®] AA. Pureza de vitamina C.

Biocitro[®] AA	Resultado
Densidade g·ml ⁻¹	0,8347
pH 25° (10%Sol)	2,42
Acidez (mg)	678
Ácido ascórbico %	22,46
Bioflavonoides %	mínimo 0,7
Polifenoies %	mínimo 7

Fonte: Quinabra.

Tabela 7. Caracterização físico-química do Biocitro® Pó PG. Pureza de vitamina C.

Biocitro® Pó PG	Resultado
Densidade g·ml ⁻¹	0,6299
pH 25° (10%Sol)	2,47
Acidez (mg)	1166
Ácido ascórbico %	11,1
Bioflavonoides %	mínimo 0,8
Polifenóis %	mínimo 4

Fonte: Quinabra.

O produtor indica a composição do Biocitro® como uma mistura de ácido ascórbico e ascorbato, bioflavonóides do citrino (vitamina P), ácidos graxos do citrino, Bioflavoproteínas, açúcares do citrino e Polifenóis do citrino.

3.3 Equipamentos

Foram utilizados os seguintes equipamentos nas determinações analíticas:

- Agitador de peneiras RO-TAP modelo RX-29-10, equipado com um conjunto de 7 peneiras vibratórias, com malhas de 125 µm a 2,34µm;
- Estufa com circulação de ar da marca Fabbe-Primar ou Brabender Duisburg A/RH;
- Banho-maria marca Eberbach, Shaker Bath, cat n. 6250;
- Moinho de discos marca Perten, tipo 3.600, Hz 60, W 750, RPM 1680;
- Batedeira industrial SIAM-UTIL S/A 10 kg;
- Balança eletrônica Mettler Toledo, modelo SB 12001;
- Balança analítica marca Mettler Toledo, AG 204;
- Cromatógrafo líquido de alta eficiência (CLAE) Hewlett Packard, modelo 1090 M (Waldbronn, Alemanha);
- Extrusor Brabender rosca simples, modelo DS 20 equipado com resistências elétricas nas três zonas ao longo do cilindro, sistema de alimentação e velocidade de rosca controlada em rpm;
- Agitador tipo vortex marca Genie 2 Scientific Industries (NY, Estados Unidos).

3.4 Métodos

3.4.1 Granulometria

Foi feita na Embrapa - Agroindústria de Alimentos granulometria para a matéria-prima dos ingredientes grits de milho, farelo de soja, farinha de carne e para a ração animal.

Foram peneiradas 100 g de cada ingrediente durante 10 minutos, em um conjunto de sete peneiras vibratórias e com aberturas nas malhas diversas, em um agitador de peneiras da marca RO-TAP modelo RX-29-10 (WS Tyler, USA). Em seguida, as quantidades retidas em cada peneira, foram pesadas e expressas em porcentagens.

3.4.2 Determinação da composição centesimal

As amostras foram caracterizadas quanto à composição centesimal segundo métodos descritos pela AOAC: para nitrogênio Kjeldahl tradicional modificado (catalisador Na₂SO₄, CuSO₄ e Se, titulante H₂SO₄ 0.05M; para extrato etéreo Soxhlet, AOAC (2005); Método 934.01 para umidade e método AOAC (2000) 923.03 para cinzas.

3.4.3 Determinação de micro nutrientes

Foram realizadas análises para a quantificação de alumínio, cálcio, cádmio, cobalto, cobre, cromo, ferro, fósforo, magnésio, manganês, molibdênio, potássio, selênio, sódio e zinco, de acordo com os métodos da AOAC (2000), método 999.11, item 9.1.09, página 19. A quantificação dos minerais foi realizada em espectrofotômetro de emissão de plasma ICP Spectroflama, segundo a metodologia da AOAC (2000), método 990.08, item 9.2.39, página 46, sendo a determinação feita por espectrometria de emissão atômica, após uma digestão completa da amostra com ácido nítrico e ácido perclórico.

3.4.4 Determinação da composição de aminoácidos

Foram realizadas as determinações de aspartato, glutamato, serina, histidina, glicina, treonina, alanina, arginina, tirosina, valina, fenilalanina, isoleucina, leucina, lisina e prolina, de acordo com a metodologia da AOAC (2000), método 994.12. As amostras desengorduradas com quantidades conhecidas de proteína (2 a 5 mg); foram hidrolisadas em HCL 6 N contendo 0,05% de mercaptaetanol a 105 °C durante 22 horas, em ampolas de vidro fechadas a vácuo. Os hidrolisados foram filtrados em membrana de 0,22µ. Sendo a seguir retidas alíquotas de 100 µL de cada solução filtrada e evaporada em evaporador de fluxo suave de nitrogênio e completando-se em dessecador a vácuo durante a noite. O hidrolisado final foi dissolvido em 100 µL da solução padrão interno de NVA (norvalina) e SAR (sarcosina), homogeneizado em vortex, sendo a quantificação dos aminoácidos realizada em cromatográfico líquido de alta eficiência (CLAE), marca Hewlett Packard, modelo 1090 M.

3.4.5 Obtenção e condicionamento das misturas

As misturas para o preparo da ração animal foram acondicionadas para os diferentes níveis de umidade conforme o delineamento experimental (Item 3.5). A porcentagem de umidade a ser adicionada foi calculada de acordo com a seguinte fórmula:

$$A = (U_f - U_i / 100 - U_f) \times P_a \quad (\text{Equação 1})$$

Onde:

A = quantidade de água a ser adicionada (ml)

U_f = umidade final da amostra (%)

U_i = umidade inicial da amostra (%)

P_a = peso da amostra (g)

A umidade inicial da ração animal foi determinada secando-se 10g em uma estufa de circulação de ar a 130°C durante uma hora, segundo metodologia da AACC método 44-16 (1995). Após isto, as amostras foram pesadas e seus valores diretamente expressos em porcentagem de umidade.

A amostra foi acondicionada e homogeneizada usando uma batedeira industrial com agitação por 5 minutos, posteriormente foi colocada em sacos plásticos e armazenada sob refrigeração durante tempo médio de 24 horas para se obter distribuição e absorção mais uniformes da água. Após este período, a farinha mista foi submetida ao processo de extrusão.

3.4.6 Condições do processo

Utilizou-se uma Extrusora Brabender DSE 20DN de rosca simples (Duisburg, Alemanha) para o processamento da ração dos diferentes tratamentos.

As condições do processo, incluindo parâmetros considerados variáveis foram:

a. O valor de temperatura de processamento na zona 3 do barril da extrusora foi um dos parâmetros variável no experimento. O ponto central foi de 130 °C, sendo que além desta houve temperaturas testadas de 120 e 140 °C.

b. A rotação ou velocidade de parafuso para o ponto central foi de 120rpm. Testaram-se outros dois níveis de rotação: 90 e 150rpm e

c. A umidade de condicionamento teve três níveis: 18%, o ponto central que tinha um percentual de 21 e 24% o último.

Finalmente durante todo o processamento se teve alguns parâmetros de extrusão constantes, os quais foram:

a. A temperatura de extrusão na zona 1 do barril foi mantido em 60°C e a temperatura na zona 2 foi de 70°C.

b. Uso-se um parafuso com uma taxa intermediária de cisalhamento no. 3.

c. A velocidade de alimentação foi padronizada em 21rpm e

d. A matriz que foi usada teve um diâmetro de 3 mm para obter um pélete da mesma grossura como recomendado pela Equipe de Avicultura/FZEA-USP.

3.4.7 Processamento

Após de atingir as temperaturas desejadas segundo o tratamento, iniciou-se a extrusão do material misturado para a elaboração de ração animal.

O produto atingiu níveis de equilíbrio, iniciou-se a coleta das amostras em sacolas plásticas herméticas para as respectivas análises. As amostras foram submetidas à secagem em estufa de circulação de ar a 60°C por 1 hora. A ração foi moída em moinho de disco Perten modelo 3600 (Uddinge, Suécia); usaram-se peneiras de 120 Mesh (125 µm) a (8) 2,34µm, armazenou-se e distribuiu-se para as os laboratórios respectivos para fazer as determinações correspondentes. A Figura 11 apresenta o fluxograma de obtenção da ração animal.

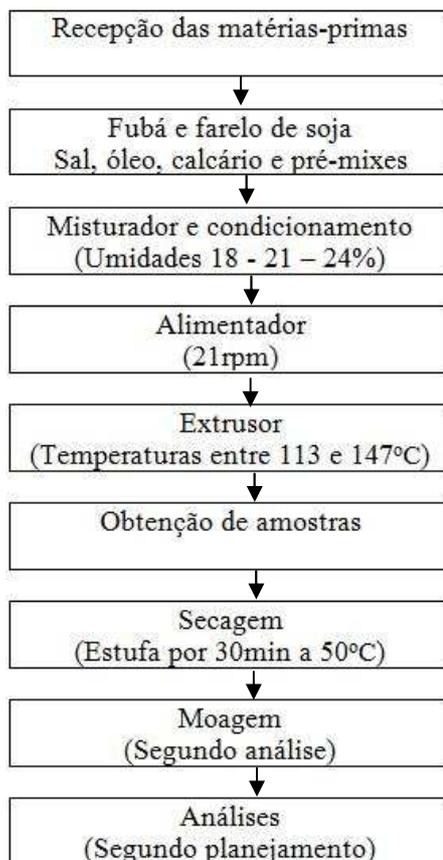


Figura 11. Fluxograma de obtenção da ração animal.

3.4.8 Determinação de ISA e IAA

Um grama de material foi colocado em tubos de centrífuga de 50 mL. Adicionou-se 10mL de água destilada, agitando e homogeneizando segundo metodologia modificada de Anderson *et al.*, (1969). O agitador de tubos de ensaio tipo Vortex garantiu essa homogeneização. Após isto as amostras sofreram agitação por 30 minutos em agitador recíproco para frascos cônicos banho Termost e levados a centrífuga (Herme modelo Z 383) a 3500rpm por 15 minutos.

Numa estufa com circulação de ar (Fabbe modelo 170) a 105°C por 4 horas foi seco o sobrenadante recolhido que previamente foi colocado em placas de Petri após o tratamento da centrífuga. Essas amostras foram pesadas após serem retiradas do dessecador aonde elas permaneceram para se resfriar por 30 minutos.

O valor ISA é igual à diferença entre os pesos das placas antes e depois, assim como mostra a Equação 2. Obteve-se assim, o percentual de resíduo que é solubilizado na água destilada adicionada.

$$ISA = \frac{\text{Peso do desidratado}}{\text{Peso inicial da amostra}} * 100$$

(Equação 2)

O IAA do extrusado é a relação do peso daquele material que se precipitou nos tubos retirados da centrífuga após ter tirado o sobrenadante, com, o peso da amostra (Equação 3).

$$\text{IAA} = \frac{\text{Peso do precipitado}}{\text{Peso da amostra}} \quad (\text{Equação 3})$$

3.4.9 Determinação Vitamina C – CLAE

A determinação por cromatografia líquida de alta eficiência da vitamina C foi feita seguindo os procedimentos operacionais da Embrapa - Agroindústria de Alimentos, que foram baseados nos estudos de Ashoor *et al.*, (1984) e Rosa (2005).

✓ **Preparo da fase móvel:**

- Adicionou-se a um balão volumétrico de 2 L aproximadamente 1,8 L de água Milli-Q;
- Mediu-se 5,6 mL de H₂SO₄ concentrado suprapuro em pipeta automática e se adicionou ao balão acima;
- Completou-se o volume à 2L com água Milli-Q após a solução ter atingido a temperatura ambiente;
- Filtrou-se em Kit de filtração à vácuo com membrana tipo HA e levou-se ao ultrassom por 15 minutos verificando-se não houver degaseificação em linha no cromatógrafo;
- Transferiu-se parte da solução para frasco âmbar de 1L e usou-se no cromatógrafo como Fase Móvel;
- O restante da solução de ácido sulfúrico 0,1 N que ficou no balão volumétrico foi usado como solução extrativa no preparo das amostras.

✓ **Preparo do padrão de calibração (padrão externo)**

- Pesou-se 25 mg do padrão de ácido ascórbico em balança analítica, diretamente para balão volumétrico de 25 mL;
- Solubilizou-se com a solução de ácido sulfúrico 0,1 N (0,05M) e avolumou-se (solução mãe);
- Tomou-se uma alíquota de 0,5mL desta solução com pipeta automática;
- Transferiu-se esta alíquota para outro balão volumétrico de 25 mL (mesmo volume da solução mãe);
- Completou-se com a solução de ácido sulfúrico 0,1 N;
- Transferiu-se para frasco de vidro âmbar de aproximadamente 1,5mL de capacidade, tampado e identificado;
- Colocaram-se os frascos de vidro âmbar no suporte do injetor automático e o suporte o no injetor;
- Fechou-se a porta e deixou-se a temperatura equilibrar por 5 minutos;
- Programou-se a injeção via Software Millennium ou Empower;
- Injetou-se imediatamente em cromatógrafo líquido com filtro de linha e previamente estabilizado (foram feitas duas injeções do padrão).
- Criou-se uma curva injetando diferentes volumes de padrão através do injetor automático.
- As áreas do pico da vitamina C nas amostras estiveram contidas na faixa de área da curva.

✓ **Preparo da amostra**

A. Amostra sólida

- Triturou-se a amostra em blender para conseguir a maior superfície de contato possível entre esta e a solução extrativa;
- Homogeneizou-se a amostra triturada com um bastão de vidro;
- Pesou-se aproximadamente 2,5g da amostra diretamente para balão volumétrico de 25 mL (ou para béquer de 50 mL) fazendo transferência quantitativa posterior para o balão de 25 mL com o ácido sulfúrico 0,1 N;
- Colocou-se no ultrassom por 10 minutos;
- Avolumou-se o balão com a solução de ácido sulfúrico 0,1 N;
- Filtrou-se em papel de filtro a mostra em unidade micro filtrante descartável diretamente para um frasco de vidro âmbar, com auxílio de seringa de vidro;
- Tampou-se o frasco de vidro âmbar com tampa apropriada, identificou-se e colocou-se em suporte do injetor automático;
- Colocou-se o suporte dentro do injetor automático e fechou-se a porta, deixando a temperatura equilibrar por 5 minutos;
- Programou-se a injeção via software Millennium ou Empower;
- Injetou-se em cromatógrafo líquido com filtro de linha e previamente estabilizado (foi feita uma injeção por preparo).
- Cálculos: A concentração foi expressa em $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$.

B. Calibração pontual

Na Equação 4 apresenta-se a concentração do padrão de calibração (em $\text{mg}\cdot 25\text{mL}^{-1}$ ou volume correspondente):

$$\text{Conc. (m/v)} = \frac{\text{massa pesada} \times \text{pureza do padrão (\%)} \times \text{volume da alíquota (mL)}}{\text{Volume da solução (mL)}}$$

(Equação 4)

C. Cálculo do Fator de Resposta

Apresenta-se na Equação 5 o cálculo do fator de resposta:

$$\text{FR} = \frac{\text{Concentração do padrão de calibração}}{\text{Área do pico do padrão}}$$

(Equação 5)

D. Cálculo da concentração de vitamina C na amostra

Na equação 6 apresenta-se o cálculo feito para determinar a concentração de vitamina C na amostra:

$$\text{mg}\cdot 100\text{g}^{-1} = \frac{\text{Área encontrada para a amostra} \times \text{FR} \times 100}{\text{Massa (g)}} * 100$$

(Equação 6)

✓ **Curva de calibração**

a. Concentração dos pontos da curva

- Utilizando-se o cálculo *Concentração do padrão de calibração* (Equação 4) como base, considerar esta a concentração do ponto que possuir o mesmo volume de injeção da amostra (100%).
- A partir daí os demais pontos podem ser calculados por regra de três simples.

b. Cálculo da concentração de vitamina C na amostra

$$\text{mg} \cdot 100\text{g}^{-1} = \frac{\text{Área encontrada para a amostra} - b}{a \times \text{Massa}} * 100 \quad (\text{Equação 7})$$

onde:

b = Coeficiente Linear (interseção)

a = Coeficiente angular (inclinação)

3.5 Delineamento Experimental e Análise Estatística

A seguir, apresenta-se o delineamento experimental usado para o estudo dos efeitos das variáveis estudadas.

Tratamentos:

Controle: ração sem vitamina C

T1: ração adicionada com vitamina C Biocitro® AA

T2: ração adicionada com vitamina C Biocitro® Pó PG

Foram consideradas as variáveis, temperatura final do barril (°C), umidade de processamento (%) e velocidade do parafuso (rpm). O efeito combinado das variáveis foi analisado para observar a sua incidência e os fatores determinantes do produto extrusado na disponibilidade da vitamina C. Foi proposto um experimento estatisticamente delineado em metodologia de superfície de resposta do tipo central composto rotacional de 2ª ordem (ASCHERI, 2007). Os parâmetros do processo foram codificados (-1, 0, +1) de acordo com a equação 2:

$$xi = Xi - Z/\Delta xi \quad (\text{Equação 8})$$

onde:

xi = valor codificado da variável Xi;

Xi = valor real da variável;

Z = valor real da variável no ponto central;

ΔXi = valor do intervalo de variação do xi.

O delineamento definiu dois níveis de variáveis axiais $-\alpha$ e $+\alpha$. O valor depende do número fatorial ($F = 2^k$) do delineamento e do número de variáveis independentes ($k = 3$) sendo o valor definido pela equação 9:

$$\alpha = (F)^{1/4} = (2^k)^{1/4} = 1,682 \quad (\text{Equação 9})$$

O número de ensaios neste tipo de metodologia para o delineamento (fatorial completo) foi calculado como colocado na equação 10.

$$n = 2^k + 2k + m \quad (\text{Equação 10})$$

onde:

2^k é o número de pontos fatoriais

$2k$ é o número de pontos axiais

M é o número de replicatas do ponto central

Assim, obtive-se:

$$2^k = 2^3 = 8 \text{ pontos fatoriais}$$

$$2k = 2 \times 3 = 6 \text{ pontos axiais}$$

$$M = 6 \text{ replicações do ponto central}$$

Total de 20 ensaios.

Valores máximos e mínimos foram estabelecidos. A análise dos resultados e a metodologia proposta descreveram o comportamento de um sistema que combinou as variáveis independentes X_k e a variável de resposta Y_i . Na equação 11 observa-se como foi definida a resposta (BOX e DRAPER, 1967):

$$Y_i = F(X_1, X_2, \dots, X_k) \quad (\text{Equação 11})$$

Para o análise de regressão para o modelo quadrático de variáveis independentes, use-se para a elaboração dos gráficos bidimensionais a equação 12.

$$Y_i = \beta_0 + \beta_n^n (X - Z) / \Delta x_i + \varepsilon \quad (\text{Equação 12})$$

onde:

Y_i = função de resposta;

β_0 = coeficiente relativo à interpretação do plano com o eixo resposta;

β_n^n = coeficiente linear, quadrático ou de interação, estimado pelo método dos mínimos quadrados;

X = Valor decodificado da variável;

Z = valor real da variável no ponto central;

Δx_i = valor de intervalo de variação absoluto entre o ponto central e ± 1 ;

E = erro experimental.

Finalmente, um análise de regressão ajustou um polinômio de segunda ordem como às variáveis explicativas (X_k) para cada resposta (Y). Equação 13:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_{11} X_1^2 + \beta_{22} X_2^2 + \beta_{33} X_3^2 + \beta_{12} X_1 X_2 + \varepsilon \quad (\text{Equação 13})$$

onde:

Y_i = função de resposta;

X_1, X_2, X_3 = valores das variáveis independentes;

β_0 = coeficiente relativo à interpretação do plano com o eixo resposta;
 $\beta_1, \beta_2, \beta_3$ = coeficientes lineares estimados pelo método dos mínimos quadrados;
 $\beta_{11}, \beta_{23}, \beta_{33}$ = coeficientes das variáveis quadráticas;
 $\beta_{12}, \beta_{13}, \beta_{23}$ = coeficientes de interação entre as variáveis independentes;
E = erro experimental.

O delineamento experimental foi um desenho fatorial incompleto 3^3 (ASCHERI, 2007) com três variáveis independentes (temperatura na parte final do barril, umidade de acondicionamento e velocidade do parafuso) e seus correspondentes valores codificados. Apresentam-se na Tabela 8 os níveis codificados (-1, 0, +1) e os axiais ($-\alpha, +\alpha$). Os valores reais apresentam-se na Tabela 9.

Tabela 8. Níveis codificados das variáveis independentes do experimento

Variáveis	Níveis				
	$-\alpha = 1,682$	-1	0	1	$+\alpha = 1,682$
X_1	113	120	130	140	147
X_2	16	18	21	24	26
X_3	70	90	120	150	170

X_1 = Temperatura na parte final do barril (°C)
 X_2 = Umidade de processamento (%)
 X_3 = Velocidade do parafuso (rpm)

Tabela 9. Delineamento completo do desenho experimental

Experimento	Níveis codificados das variáveis			Níveis decodificados das variáveis		
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂	X ₃
1	-1,000	-1,000	-1,000	120	18	90
2	1,000	-1,000	-1,000	140	18	90
3	-1,000	1,000	-1,000	120	24	90
4	1,000	1,000	-1,000	140	24	90
5	-1,000	-1,000	1,000	120	18	150
6	1,000	-1,000	1,000	140	18	150
7	-1,000	1,000	1,000	120	24	150
8	1,000	1,000	1,000	140	24	150
9	0,000	0,000	0,000	130	21	120
10	0,000	0,000	0,000	130	21	120
11	0,000	0,000	0,000	130	21	120
12	0,000	0,000	0,000	130	21	120
13	0,000	0,000	0,000	130	21	120
14	0,000	0,000	0,000	130	21	120
15	- α	0,000	0,000	113	21	120
16	α	0,000	0,000	147	21	120
17	0,000	- α	0,000	130	16	120
18	0,000	α	0,000	130	26	120
19	0,000	0,000	- α	130	21	70
20	0,000	0,000	α	130	21	170

X₁= Temperatura na parte final do barril (°C)

X₂= Umidade de processamento (%)

X₃= Velocidade do parafuso (rpm)

O processamento dos dados e a análise estatística foi elaborado com o auxílio do programa ESTATÍSTICA 6.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O experimento final foi feito utilizando uma ração padrão para aves elaborada pela Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro considerando uma concentração para todos os tratamentos de 500 ppm de Biocitro® que continha vitamina C.

4.1 Mistura da Ração Animal, Ensaios Definitivos

Determinou-se para o ensaio final usar as tabelas de exigências nutricionais da UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA (2005) e que correspondem ao modelo animal de ave de corte em finalização segundo formulação feita no programa TD SUPER CRAC® (2007) desenvolvido na mesma universidade e que são apresentadas na Tabela 10.

Tabela 10. Exigências nutricionais para frango de corte na etapa de finalização

ATENDIMENTO DAS EXIGÊNCIAS NUTRICIONAIS			
Nutriente	Atendimento	Quantidade mínima	Unidade
Ácido linoléico	2,0370	1,0220	%
Cálcio	0,8100	0,8100	%
Cloro	0,2906	0,1770	%
Energia metabolizável aves	3,0500	3,0500	MCAL·kg ⁻¹
Fósforo disponível	0,4050	0,4050	%
Fósforo total	0,6200	0,0000	%
Lisina digestível aves	1,0675	1,0490	%
Lisina total	0,1570	1,1570	%
Metionina + cistina total	0,8330	0,8330	%
Metionina + cistina digestível total	0,7705	0,7550	%
Metionina total	0,5172	0,4200	%
Metionina total	0,5397	0,4630	%
Proteína bruta	19,1000	19,1000	%
Sódio	0,2010	0,2010	%
Treonina digestível aves	0,6820	0,6820	%
Treonina	0,7793	0,7470	%
Triptofano digestível aves	0,1959	0,1780	%
Triptofano total	0,2185	0,1970	%

Baseados nestas informações foi formulada a ração animal apresentada na Tabela 11.

Tabela 11. Proporção dos ingredientes utilizados na elaboração da ração animal do experimento

COMPOSIÇÃO ALIMENTAR	
Alimento	Quantidade
Milho fubá	68,857
Soja farelo	26,204
Fosfato bicálcico	1,622
Óleo de soja	1,115
Calcário	0,802
Sal comum	0,425
L-lisina hcl	0,336
DL-metionina	0,255
Pré-mix vitamínico	0,100
Amido	0,100
L-treonina	0,093
Pré-mix minerais	0,050
Cloreto de colina	0,040
TOTAL	100

Suplemento vitamínico (por kg de produto): Vit. A – 12 milhões UI; Vit. D3 – 2.2 milhões UI; Vit. E – 30,000 mg; Vit. K3 – 2,500 mg; Vit. B1 – 2,200 mg; Vit. B2 – 6,000 mg; Vit. B6 – 3,300 mg; Vit. B12 – 16,000 mcg; Niacina - 53,000 mg; Ácido pantotênico – 13,000 mg; Biotina – 110 mg; Ácido fólico – 1,000 mg; Selênio – 250 mg; Antioxidante – 100,000 mg; Veículo Q.S.P. 1,000g; ² Suplemento mineral (por kg de produto): Mn, 126,000 mg; Fe, 105,000 mg; Cu, 12,600 mg; I, 2,520 mg; Zn, 126,000 mg.

As rações comerciais usam um perfil de composição alimentar muito similar com o apresentado nesta Tabela, incluindo, milho e soja, além dos Pré-mixes, o calcário e o sal.

4.2 Classificação Granulométrica

A moagem dos componentes de uma ração tem como objetivo reduzir as partículas para melhorar sua mistura, o processo de extrusão, a gelatinização do amido, a qualidade do extrusado e a digestibilidade da ração (HILCKO, 2008).

O termo granulometria é empregado para caracterizar o tamanho dos grânulos de um produto moído, dado pelo Diâmetro Geométrico Médio (DGM) em milímetros (mm) ou micrometros (μm) (ZANOTTO *et al*, 2008) e são classificadas segundo seu DGM em partículas grossas, médias e finas, definidas como diâmetros maior que 2mm, entre 2 e 0,60mm, e menor que 0,60mm respectivamente (HILCKO, 2008).

A redução na granulometria traz como consequência a homogeneização e a digestibilidade dos ingredientes, devido ao aumento da superfície de contato com as enzimas digestivas; o grau de gelatinização do amido, qualidade do extrusado e o aspecto visual da ração. Entretanto, pode resultar em aumento na taxa de passagem do alimento pelo trato digestório, reduzindo o tempo de ação das enzimas digestivas sobre os nutrientes e sua absorção, o que também compromete o aproveitamento dos nutrientes pelo organismo (HILCKO, 2008).

Além disso, a textura do produto final está relacionada com o tamanho de partícula das matérias-primas podendo ser afetada de uma maneira significativa. Assim, as partículas deverão ser preferivelmente uniformes no intuito de evitar a segregação no processo de fabricação da ração e as atividades pré-extrusão tais como o transporte e condicionamento já que as partículas de maior tamanho absorverão água em uma velocidade menor do que as pequenas, tudo pelo princípio da difusividade da água (ASCHERI; CARVALHO, 1996).

Na Figura 12 são apresentados os resultados de granulometria da ração utilizada no experimento.

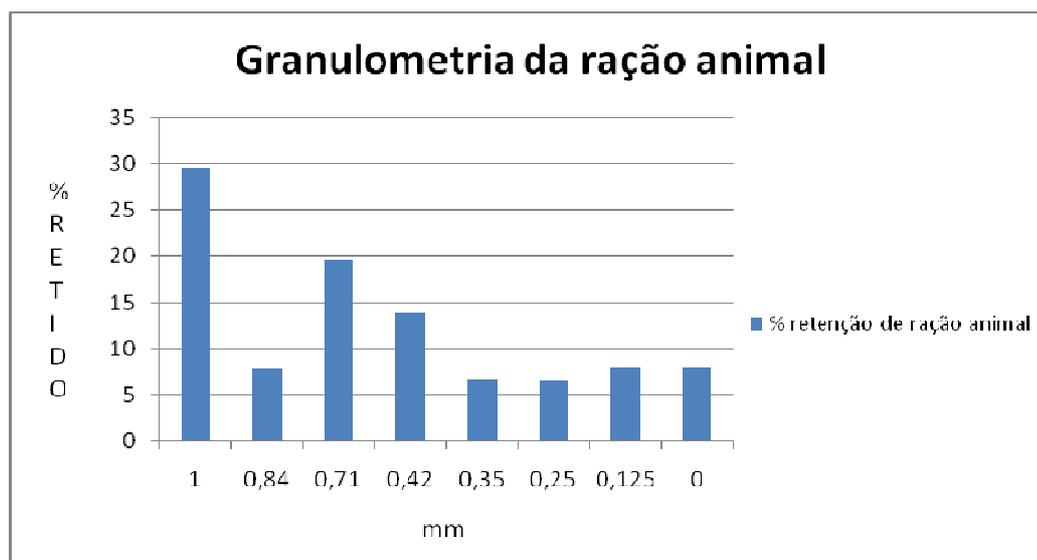


Figura 12. Classificação granulométrica da ração usada no experimento.

Observa-se nesta Figura que 60% das partículas estão entre 0,1 a 0,7mm, o que está dentro dos padrões de amostras comerciais para ração animal. Assim, além do tamanho das partículas, a uniformidade é de grande importância na avaliação da influência da granulometria no aproveitamento dos nutrientes pelos animais (AMERAH, 2007). As ações podem então, influenciar o desempenho produtivo como já foi observado no passado (RIBEIRO *et al.*, 2002) tanto no consumo do produto que esteja sendo oferecido quanto na digestão desse alimento no nível do aparelho digestivo, seja pela alteração de um ou outro (LEANDRO *et al.*, 2001).

Uma granulometria muito fina faz com que o animal consuma mais água, trazendo como consequência uma diminuição do ganho de peso. Por outro lado, a extrusão é uma alternativa para padronizar a ração diminuindo perdas (ENSMINGER; OLENTINE, 1978), bem como o maior aproveitamento da ração (ANDRIGUETO *et al.*, 1981). A redução do DGM dos ingredientes favorece a gelatinização do amido durante a extrusão e, por conseguinte, uma melhor gelatinização do amido, contribuindo para uma maior digestibilidade da ração e melhor estrutura dos extrusados. Ao contrário do que acontece às partículas grandes, isto porque as partículas com menor diâmetro geométrico são penetradas pelo vapor até o centro do núcleo, agregando-lhes umidade e essa umidade, aliada ao tempo, irá envolver as partículas com uma espécie de “cola” originada dos amidos contidos no produto, dando-lhes condições para que elas se agreguem entre si, resultando em melhoria na qualidade e apresentação final dos extrusados (BAZOLLI, 2007).

O processo de extrusão permite a utilização de uma gama de ingredientes e tamanhos de partículas dos mesmos. Porém, as partículas pequenas são mais rapidamente fundidas e a massa resultante, de viscosidade baixa, pode não ser transportada apropriadamente (ASCHERI, 1995).

4.3 Composição Centesimal da Ração Animal

Na Tabela 12 apresentam-se os valores da composição centesimal da ração animal doada pela Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

Tabela 12. Composição centesimal da ração animal extrusada

Composição (%)	Ração animal (%)
Umidade	11,52
Cinzas	4,57
Extrato etéreo	5,12
Proteínas**	17,68
Carboidratos totais*	61,11

**Fator 6,25

*Calculado por diferença (100- umidade-proteína-extrato etéreo-cinzas). Carboidratos totais incluem fibra alimentar. De acordo com a TACO – Tabela Brasileira de Composição de Alimentos – 2ª edição, Unicamp, Campinas-SP, 2006.

<http://www.unicamp.br/nepa/taco/Tabela.php?ativo=Tabela&PHPSESSID=7f33e2f5d90926844acacad5ea1f7624>

A ração animal usada quando comparada com outros produtos de linha comercial, encontrou-se dentro dos níveis de garantia como, por exemplo, os alimentos completos da marca GUABI™ que possuía uma umidade máxima de 13%, uma proteína mínima de 17%, um extrato etéreo de 2%, para o produto FORTEFRAN ABATE®, indicado para ser ministrado os 5 últimos dias antes do abate. PURINA™ na linha de frangos de corte com o produto NUTRIENGORDA® garantem os seguintes níveis: umidade máxima de 13%, uma proteína mínima de 18% e um extrato etéreo de 2,5%.

Mesmo que os níveis de extrato etéreo sejam divergentes na ração animal elaborada, esses resultados foram os correspondentes, para os níveis de exigência nutricional para o modelo animal frango de corte.

4.4 Composição em Micro Nutrientes

Na Tabela 13 apresentam-se a composição em minerais ($\text{mg}\cdot 100\text{g}^{-1}$, base seca) dos ensaios definitivos.

Tabela 13. Composição em minerais ($\text{mg}\cdot 100\text{g}^{-1}$, base seca) da ração animal dos tratamentos Controle, T1 e T2

Minerais ($\text{mg}\cdot 100\text{g}^{-1}$)	Controle	T1	T2
Sódio	147,07	164,49	148,03
Magnésio	144,45	149,12	145,47
Fósforo	615,14	684,6	608,6
Potássio	784,25	799,78	801,04
Cálcio	825,35	915,82	810,82
Manganês	7,644	8,51	7,779
Ferro	18,241	20,902	18,003
Cobre	0,929	1,055	0,794
Zinco	7,907	8,412	7,883
Alumínio	7,679	8,149	6,144
Cromo	ND	ND	ND
Cobalto	ND	ND	ND
Selênio	ND	ND	ND
Molibdênio	ND	ND	ND
Cádmio	ND	ND	ND

ND: abaixo do limite de detecção

T1: ração adicionada com vitamina C Biocitro® AA

T2: ração adicionada com vitamina C Biocitro® Pó PG

Os minerais não fornecem calorias e são encontrados no organismo em quantidades diminutas, porém são igualmente necessários e alguns até mesmo essenciais ao adequado funcionamento e desenvolvimento do organismo; são compostos com estruturas químicas diversas e que desempenham diferentes funções no organismo. Podem ser classificados como macrominerais (cálcio, fósforo, potássio, sódio, cloro, zinco e magnésio) e microminerais (ferro, zinco, cobre, selênio, cobalto, cromo, manganês e molibdênio), dependendo da abundância no organismo (BUENO; CZEPIELEWSKI, 2007).

Os macrominerais estão envolvidos em uma série de funções metabólicas e são importantes para a formação dos ossos, na obtenção e transformação de energia, na coagulação sanguínea, na absorção de nutrientes, no adequado funcionamento de músculos (incluindo o cardíaco), além de constituição de cabelos, unhas e pele (BUENO; CZEPIELEWSKI, 2007).

Os microminerais, embora necessários em pequenas quantidades, são de igual relevância em relação aos macrominerais, sendo responsáveis pelo metabolismo normal e o bom funcionamento das células, além de atuarem como co-fatores enzimáticos, sendo necessários na ação hormonal, neutralização dos radicais livres, promoção e estabilização das reações químicas que ocorrem no organismo (BUENO; CZEPIELEWSKI, 2007).

O cálcio e o fósforo são os elementos de especial interesse devido à sua essencialidade no metabolismo e ao seu alto preço no mercado, o que contribui para elevar os custos finais das rações. Além do fósforo, o cálcio é de suma importância no metabolismo animal, principalmente na formação óssea. Cálcio e fósforo interagem, de forma que o excesso ou a diminuição de um pode afetar a utilização do outro pelo animal (CARDOSO, 2008).

4.5 Composição em Aminoácidos

Na Tabela 14 apresentam-se os valores de aminoácidos na ração animal ($\text{g}\cdot 100^{-1}$ gramas de ração animal).

Tabela 14. Composição em aminoácidos ($\text{g}\cdot 100\text{g}^{-1}$ de amostra), em base seca, da ração animal dos tratamentos

Aminoácidos	Controle	T1	T2
Aspartato	3,2	3,41	3,215
Serina	0,505	0,505	0,52
Glutamato	6,52	6,71	6,695
Glicina	0,54	0,545	0,56
Histidina	0,24	0,245	0,245
Arginina	0,555	0,63	0,71
Treonina	0,32	0,35	0,37
Alanina	0,525	0,52	0,545
Prolina	0,645	0,62	0,63
Tirosina	0,415	0,41	0,415
Valina	0,515	0,51	0,52
Lisina	0,68	0,725	0,77
Isoleucina	0,465	0,465	0,47
Leucina	0,92	0,9	0,925
Fenilalanina	0,57	0,545	0,535

T1: ração adicionada com vitamina C Biocitro® AA

T2: ração adicionada com vitamina C Biocitro® Pó PG

As rações devem ter uma adequação dos níveis de aminoácidos e da energia. O frango moderno apresenta comportamento de hiperfagia, característica imprimida pelo melhoramento genético, que resulta também na maior velocidade de crescimento dessas aves. Este comportamento leva a maiores consumos de energia que podem comprometer a qualidade da carcaça, aumentando a deposição graxa, principalmente na região abdominal (BERTECHINI *et al.* 1991, BARTOV; PLAVNIK, 1998; SILVA *et al.*, 2003).

Uma pesquisa de Bertechini *et al.* (1991) e de Barbosa *et al.* (2008) indicam elevação dos teores de gordura abdominal com o incremento da energia das rações finais de frangos de corte criados até 42 dias de idade. Este efeito é reduzido quando se faz a adequação dos níveis de proteína/aminoácidos quando se eleva o conteúdo de energia das rações, mantendo a relação aminoácido/energia constante (BERTECHINI, 2008).

Quanto aos níveis protéicos, tem-se verificado a necessidade de uma quantidade mínima desse nutriente para manter baixos os teores de gordura abdominal (SILVA *et al.*, 2003). Por outro lado, todo excesso de nutrientes carbonados são acumulados na forma de gordura orgânica, ocorrendo também este efeito com níveis excessivos de proteína nas rações finais de criação dos frangos de corte (BERTECHINI, 2008).

O aminoácido lisina tem sido objeto de muitos trabalhos relacionando níveis com rendimento de cortes nos frangos de corte. Na maioria dos trabalhos, tem-se evidenciado a sua importância principalmente para o rendimento de peito dessas aves (BERTECHINI, 2008).

Por outra parte, é bastante conhecida a influência negativa de temperaturas elevadas na performance de frangos de corte. Esta queda na produção geralmente progride com a idade sendo que o frango diminui sua capacidade em lidar com uma soma de processos gerados pelo calor. O ganho de peso corporal diminui, conteúdo de gordura aumenta enquanto que a umidade e proteína diminuem (HOWLINDER; ROSE, 1987; CHWALIBOG; EGGUM, 1989). Estas mudanças são o resultado de várias adaptações físicas e metabólicas do frango em se adaptar à sua condição e sobreviver (MORAN, 1999).

Atividades durante o crescimento juntamente com a digestão do alimento geram um calor considerável. Aoyagi *et al.* (1988) calculou que 12% da geração de calor ou termogênese do consumo alimentar para um frango de 2 semanas era devido à elevada síntese protéica. Outros 12 a 16% é calor gerado de resíntese protéica com turnover. Um excesso de temperatura elevada acentua a síntese protéica e sua quebra (GERAERT *et al.*, 1996a; 1996b; YUNIANO *et al.*, 1997).

Assim, os níveis de aminoácidos encontrados correspondem a perfis nos quais a relação carboidrato:proteína esta garantida e além disso se mantém um nível de segurança respeito a não influência da proteína no estresse calórico.

4.6 Caracterização Física da Ração do Ensaio Final

4.6.1 Índice de Solubilidade Água (ISA)

I. ISA para a ração do Tratamento Controle

Na Tabela 15 são apresentados os resultados obtidos na caracterização da variável dependente Índice de Solubilidade em Água.

Tabela 15. Media e desvio padrão do Tratamento Controle correspondente ao Índice de Solubilidade em Água

Controle Experimento	Níveis decodificados das variáveis				
	X ₁	X ₂	X ₃	ISA	DP
1	120	18	90	6,49	0,156
2	140	18	90	7,44	0,874
3	120	24	90	7,33	0,931
4	140	24	90	6,09	0,945
5	120	18	150	6,47	0,198
6	140	18	150	6,07	0,771
7	120	24	150	6,55	0,491
8	140	24	150	7,91	0,810
9	130	21	120	8,71*	0,120
10	130	21	120	7,26	0,546
11	130	21	120	7,86	0,235
12	130	21	120	7,67	0,411
13	113	21	120	5,10**	0,074
14	147	21	120	8,02	0,939
15	130	16	120	7,69	0,031
16	130	26	120	8,13	0,294
17	130	21	70	8,34	0,047
18	130	21	170	8,26	0,317

X₁= Temperatura na parte final do barril (°C)

X₂= Umidade de processamento (%)

X₃= Velocidade do parafuso (rpm)

ISA: Índice de Solubilidade em Água (%)

DP: Desvio Padrão

*: Valor máximo

** : Valor mínimo

O maior valor encontrado para o ISA foi 8,7 à temperatura de 130°C, e umidade de 21% a 120rpm; e o valor mínimo foi de 5,09 a 113°C na zona 3 do barril, 21% de umidade, 120rpm. Já o valor de ISA no ponto central foi de 7,87.

O ISA está relacionado à quantidade de sólidos solúveis em uma amostra seca, permitindo verificar o grau de severidade do tratamento térmico, em função da gelatinização, dextrinização e conseqüente solubilização do amido (CARVALHO *et al*, 2002), constituindo

a desramificação da estrutura amilácea. No caso da ração estudada isto implica provavelmente uma parcial gelatinização do material amiláceo e desnaturação parcial da proteína da formulação. O processo da extrusão pode modificar leve ou profundamente a estrutura amilácea. Segundo Anderson (1969), com o ISA pode-se quantificar a parte solúvel de um material que foi dextrinizado já que este índice mostra que a solubilidade do amido em água pode ser maior ou menor, dependendo da intensidade do cisalhamento ocorrido durante o processo da extrusão. De acordo com descrito por este autor observou-se um grau de conversão intermediária do material da ração em estudo de acordo com a matriz usada (3 mm).

Os valores da análise de variância (ANOVA) para as respostas Índice de Solubilidade em Água (ISA) para o Tratamento Controle estão apresentados na Tabela 16.

Tabela 16. Teste F da análise de variância, coeficiente de regressão, estimativa dos efeitos e respectivas probabilidades (P) do modelo de regressão quadrática aplicado ao índice de solubilidade em água do tratamento controle

Fonte de variação	Teste F	P	Coeficiente de Regressão	Estimativa dos efeitos
Intercepto			7,911351*	7,911351
X₁	6,15541	0,08919	0,409093	0,818186
X₁²	13,685882	0,034291*	-0,633755	-1,26751
X₂	0,91268	0,409882	0,157526	0,315052
X₂²	0,82466	0,43077	-0,155569	-0,311138
X₃	0,05009	0,837278	-0,036905	-0,07381
X₃²	0,01164	0,920886	-0,018485	-0,03697
X₁.X₂	0,05789	0,825372	-0,051837	-0,103674
X₁.X₃	0,52155	0,522385	0,155594	0,311188
X₂.X₃	1,97828	0,254263	0,303033	0,606066
Falta de ajuste	3,1943	0,18399		
			$R^2 = 0,57741$	

X₁= Temperatura na parte final do barril (°C)

X₂= Umidade de processamento (%)

X₃= Velocidade do parafuso (rpm)

*= Diferença significativa (p<0,05)

Os valores de probabilidade indicaram que somente a variável quadrática temperatura na zona 3 do barril contribuiu de maneira significativa (P<0,05) para os valores do Índice de Solubilidade em Água.

O valor do coeficiente de determinação (R²) para o modelo quadrático foi baixo (57,74%) portanto não é preditivo devido à grande variação dos pontos experimentais. Porém, não foi verificada falta de ajuste pelo fato deste não ter apresentado significância (P>0,05).

A equação do modelo matemático proposto para as variáveis independentes codificadas fica reescrita como:

$$ISA = 7,91 - 0,63X_1^2 \quad \text{(Equação 14)}$$

Na Figura 13 apresenta-se a análise de regressão para o modelo quadrático da variável independente em estudo do Tratamento Controle em função da variável significativa.

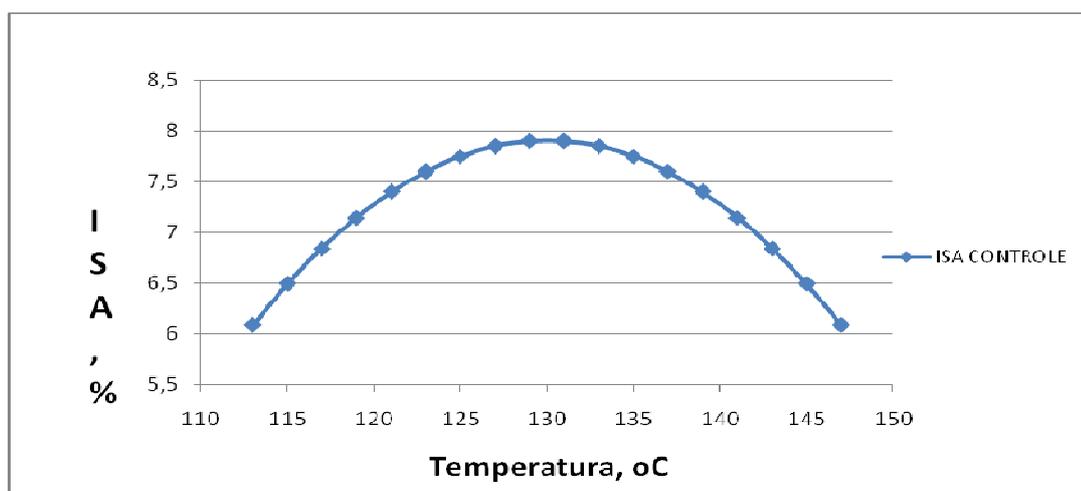


Figura 13. Análise de regressão para o modelo quadrático aplicado para o índice de solubilidade em água em função do percentual da temperatura na zona 3 do barril para o tratamento controle

II. ISA para a Ração contendo Biocitro® AA (T1)

Na Tabela 17 são apresentados os resultados obtidos na caracterização da variável dependente Índice de Solubilidade em Água.

Tabela 17. Media e desvio padrão do Tratamento T1 correspondente ao Índice de Solubilidade em Água

T1 Experimento	Níveis decodificados das variáveis			ISA	DP
	X ₁	X ₂	X ₃		
1	120	18	90	7,20	0,444
2	140	18	90	7,38	0,481
3	120	24	90	7,66	0,413
4	140	24	90	6,26	0,615
5	120	18	150	5,41	0,211
6	140	18	150	7,05	0,626
7	120	24	150	6,89	0,088
8	140	24	150	7,99	0,788
9	130	21	120	6,87	0,511
10	130	21	120	8,15	0,3
11	130	21	120	8,29	0,438
12	130	21	120	7,39	0,74
13	113	21	120	6,43	0,668
14	147	21	120	5,39**	0,519
15	130	16	120	7,57	0,369
16	130	26	120	7,87	0,213
17	130	21	70	8,36*	0,331
18	130	21	170	7,80	0,657

X₁= Temperatura na parte final do barril (°C)

X₂= Umidade de processamento (%)

X₃= Velocidade do parafuso (rpm)

ISA: Índice de Solubilidade em Água (%)

T1: ração adicionada com vitamina C Biocitro® AA

DP: Desvio Padrão

*: Valor máximo

** : Valor mínimo

Os maior valor de ISA para o tratamento contendo Biocitro® (T1) registrou 8,35 à temperatura de 130°C no barril, umidade de 21% a 70rpm; o valor mínimo foi de 5,39 a 147°C no barril, 21% de umidade, 120rpm. O valor no ponto central foi de 7,67.

Na Tabela 18 estão apresentados os valores da análise de variância (ANOVA) da variável resposta Índice de Solubilidade em Água (ISA) para o Tratamento T1.

Tabela 18. Teste F da análise de variância, coeficiente de regressão, estimativa dos efeitos e respectivas probabilidades (P) do modelo de regressão quadrática aplicado ao índice de solubilidade em água do tratamento T1

Fonte de variação	Teste F	P	Coefficiente de Regressão	Estimativa dos efeitos
Intercepto			7,685609*	7,685609
X₁	0,007530	0,089190	-0,015674	-0,031348
X₁²	12,872980	0,034291*	-0,673236	-1,346472
X₂	0,839880	0,409882	0,165517	0,331034
X₂²	0,033160	0,430770	-0,034168	-0,068336
X₃	0,736370	0,837278	-0,154983	-0,309966
X₃²	0,250770	0,920886	0,093965	0,187930
X₁.X₂	1,251510	0,825372	-0,264001	-0,528002
X₁.X₃	4,417940	0,522385	0,496018	0,992036
X₂.X₃	2,670340	0,254263	0,385631	0,771262
Falta de ajuste	0,531420	0,183990		
$R^2 = 0,81286$				

X₁= Temperatura na parte final do barril (°C)

X₂= Umidade de processamento (%)

X₃= Velocidade do parafuso (rpm)

T1: ração adicionada com vitamina C Biocitro® AA

*= Diferença significativa (p<0,05)

Os valores de probabilidade indicaram que somente a variável quadrática temperatura na zona 3 do barril contribuiu para os valores do índice de solubilidade em água neste tratamento.

O valor do coeficiente de determinação (R²) para o modelo quadrático foi baixo (81,28%) sendo não é preditivo e obtendo uma grande variação dos pontos experimentais. Não entanto não foi observada falta de ajuste já que não houve diferencia significância (P>0,05).

A equação do modelo matemático proposto para as variáveis independentes codificadas fica rescrita como:

$$ISA = 7,68 - 0,67 X_1^2 \quad \text{(Equação 15)}$$

Na Figura 14 apresentam-se a análise de regressão do ISA para o modelo quadrático em função da variável temperatura na zona 3 do barril.

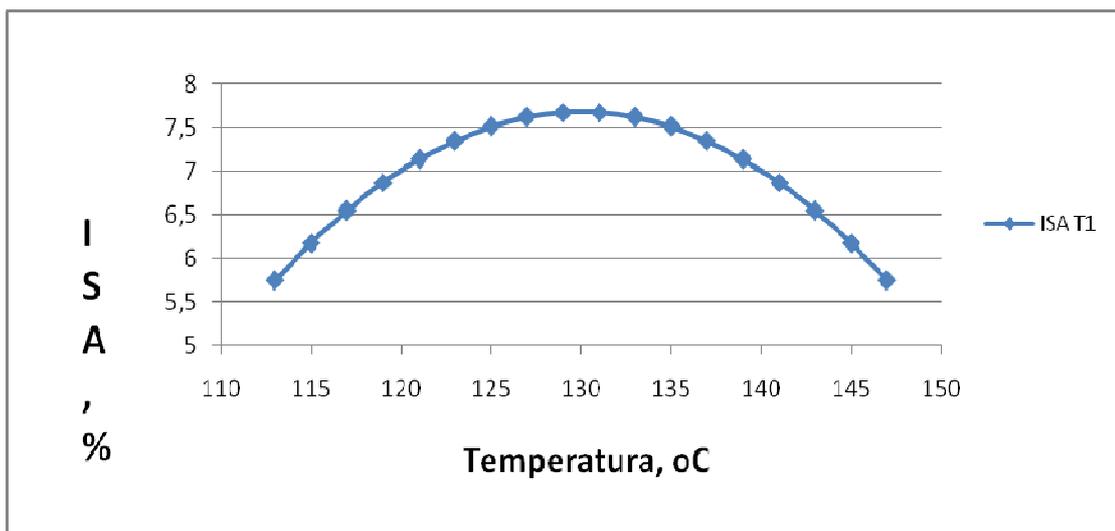


Figura 14. Análise de regressão para o modelo quadrático aplicado para o índice de solubilidade em água em função do percentual da temperatura na zona 3 do barril no tratamento T1.

III. ISA para a Ração contendo Biocitro® Pó PG (T2)

Na Tabela 19 são apresentados os resultados obtidos na caracterização da variável dependente Índice de Solubilidade em Água.

Tabela 19. Media e desvio padrão do Tratamento T2 correspondente ao Índice de Solubilidade em Água

T2 Experimento	Níveis decodificados das variáveis			ISA	DP
	X ₁	X ₂	X ₃		
1	120	18	90	6,27	0,352
2	140	18	90	7,73	0,931
3	120	24	90	6,66	0,428
4	140	24	90	5,79	0,487
5	120	18	150	6,45	0,157
6	140	18	150	6,22	0,896
7	120	24	150	6,33	0,447
8	140	24	150	6,66	0,869
9	130	21	120	7,86	0,424
10	130	21	120	6,84	0,218
11	130	21	120	6,37	0,244
12	130	21	120	7,32	0,303
13	113	21	120	5,55**	0,672
14	147	21	120	5,91	0,07
15	130	16	120	7,90	0,552
16	130	26	120	7,69	0,578
17	130	21	70	8,14	0,143
18	130	21	170	8,16*	0,571

X₁= Temperatura na parte final do barril (°C)

X₂= Umidade de processamento (%)

X₃= Velocidade do parafuso (rpm)

ISA: Índice de Solubilidade em Água (%)

T2: ração adicionada com vitamina C Biocitro® Pó PG

DP: Desvio Padrão

*: Valor máximo

** : Valor mínimo

Observa-se que o maior valor encontrado para o ISA foi 8,16 à temperatura de 130°C no final do barril, uma umidade de 21% a 170rpm; e o valor mínimo foi de 5,54 a 113°C no barril, 21% de umidade, 120rpm. O valor de ISA no ponto central foi de 7,09.

A Tabela 20 representa os valores da análise de variância (ANOVA) da variável resposta Índice de Solubilidade em Água (ISA) para o tratamento T2.

Tabela 20. Teste F da análise de variância, coeficiente de regressão, estimativa dos efeitos e respectivas probabilidades (P) do modelo de regressão quadrática aplicado ao índice de solubilidade em água do tratamento T2

Fonte de variação	Teste F	P	Coeficiente de Regressão	Estimativa dos efeitos
Intercepto			7,132006*	7,132006
X₁	0,29666	0,62386	0,094528	0,189056
X₁²	12,56288	0,038243*	-0,639093	-1,278186
X₂	0,44342	0,553102	-0,115568	-0,231136
X₂²	0,24843	0,652433	0,089872	0,179744
X₃	0,10016	0,772379	-0,054926	-0,109852
X₃²	1,45311	0,314439	0,217354	0,434708
X₁.X₂	0,95505	0,400509	-0,221612	-0,443224
X₁.X₃	0,07288	0,804698	-0,061218	-0,122436
X₂.X₃	1,08963	0,373263	0,236712	0,473424
Falta de ajuste	1,34191	0,430316		
$R^2 = 0,67721$				

X₁= Temperatura na parte final do barril (°C)

X₂= Umidade de processamento (%)

X₃= Velocidade do parafuso (rpm)

T2: ração adicionada com vitamina C Biocitro® Pó PG

*= Diferença significativa (p<0,05)

Verifica-se então que os coeficientes lineares não são significativo a 95% de probabilidade, bem como os coeficientes quadráticos excetuando a temperatura final do barril, que foi significativa (p<0,05). Nas interações também não foi verificada significância a 5%.

O valor do coeficiente de determinação (R²) para o modelo quadrático foi baixo (67,72%) pode-se concluir que não é preditivo tendo assim uma grande variação dos pontos experimentais. Porém, não foi verificada falta de ajuste pelo fato deste não ter apresentado significância (P>0,05).

A equação do modelo matemático proposto para as variáveis independentes codificadas fica rescrita como:

$$ISA = 7,13 - 0,64 X_1^2 \quad \text{(Equação 16)}$$

Na Figura 15 apresentam-se a análise de regressão, para o modelo quadrático, em função da variável de temperatura na zona 3 do barril.

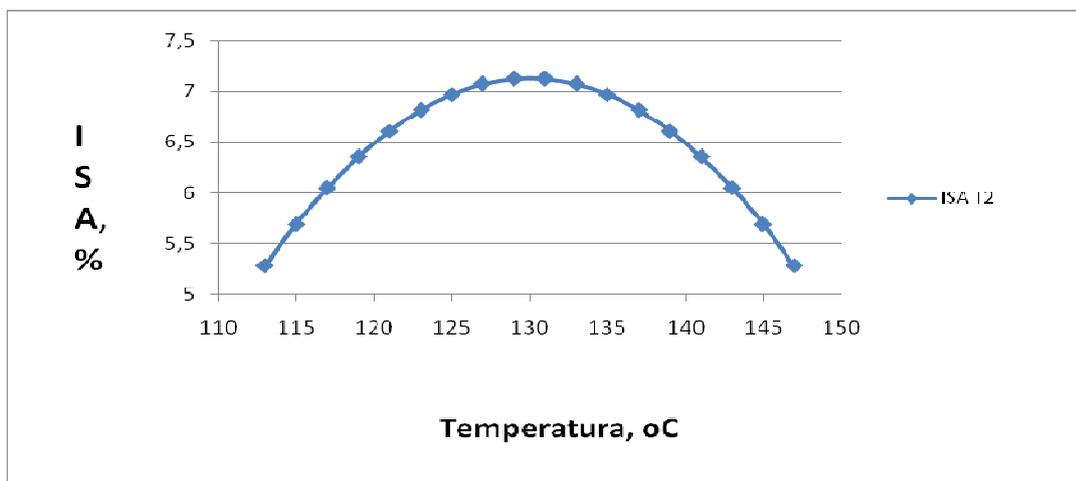


Figura 15. Análise de regressão para o modelo quadrático aplicado para o índice de solubilidade em água em função do percentual da temperatura na zona 3 do barril no tratamento T2

De fato, sabe-se que com o aumento da temperatura o valor de Índice de Solubilidade em Água (ISA) aumenta, até um ponto no qual mostra um decréscimo (ASCHERI 2007). Neste estudo, o aumento da temperatura na zona 3 do barril resultou um aumento do ISA até a temperatura de 130°C para todos os tratamentos, além da qual, esse valor passou a diminuir, como foi verificado para vários produtos como grits de milho e sorgo, arroz (ASCHERI, 2007; FERNANDES *et al.*, 2002) e farelos de diversos produtos vegetais usados como matérias-primas nas rações. Essa queda é explicada pelo fato da degradação do amido quando submetido a temperaturas mais altas, sendo verificado por muitos autores em diferentes tipos de fonte de amido (ASCHERI 2007; ANDERSON *et al.*, 1969; CONWAY *et al.*, 1986; CONWAY, 1971; OWUSU-ANSAH *et al.*, 1984; MERCIER; FEILLET, 1975; EL-DASH *et al.*, 1983; SREBERNICH, 1989; TORRES, 1991).

4.6.2 Índice de Absorção de Água IAA

i. IAA para o Tratamento Controle

Na Tabela 21 são apresentados os resultados obtidos na caracterização da variável dependente Índice de Absorção de Água.

Tabela 21. Media e desvio padrão do Tratamento Controle correspondente ao Índice de Absorção de Água

Controle Experimento	Níveis decodificados das variáveis				
	X ₁	X ₂	X ₃	IAA	DP
1	120	18	90	4,02	0
2	140	18	90	4,03	0,152
3	120	24	90	3,77	0,122
4	140	24	90	3,65	0,073
5	120	18	150	4,48	0,082
6	140	18	150	4,51*	0,17
7	120	24	150	4,04	0,057
8	140	24	150	3,91	0,121
9	130	21	120	3,88	0,033
10	130	21	120	3,94	0,219
11	130	21	120	3,86	0,099
12	130	21	120	3,77	0,158
13	113	21	120	3,56	0,012
14	147	21	120	4,22	0,22
15	130	16	120	3,77	0,031
16	130	26	120	3,50	0,129
17	130	21	70	3,40**	0,129
18	130	21	170	4,45	0,134

X₁= Temperatura na parte final do barril (°C)

X₂= Umidade de processamento (%)

X₃= Velocidade do parafuso (rpm)

IAA: Índice de Absorção de Água (g gel·g matéria seca⁻¹)

DP: Desvio Padrão

*: Valor máximo

** : Valor mínimo

Os valores máximos este tratamento para IAA foi quando se encontrou a uma temperatura de 140°C, com uma umidade de 18% e 150rpm (4,51); entanto que o mínimo (3,4) foi para uma configuração 130 °C, 21% e 70rpm. O ponto central reportou em média, 3,86 o que é um valor relativamente baixo (MENDONÇA, 2005) quando comparados com valores de extrusados para sopas semi-instantâneas por apresentar uma capacidade espessante característica. Porém, acredita-se que este grau de cozimento é suficiente para bons resultados em aves. O índice de absorção de água relaciona a disponibilidade de grupos hidrofílicos (-OH) e a sua capacidade em se ligar às moléculas de água e a formação de gel das moléculas de amido. A temperatura ambiente os grânulos de amido gelatinizados que absorvem água e incham (CARVALHO, *et al.*, 2002). No entanto ao se ter uma razão contendo cerca de 17% de proteína cabe considerar que poderá influenciar nas propriedades de absorção de água das amostras extrusadas.

A Tabela 22 apresenta os dados obtidos para o tratamento controle quando analisado o índice de absorção de água.

Tabela 22. Teste F da análise de variância, coeficiente de regressão, estimativa dos efeitos e respectivas probabilidades (P) do modelo de regressão quadrática aplicado ao índice de absorção de água (g gel/ matéria seca) do tratamento Controle

Frente de variação	Teste F	P	Coeficiente de Regressão	Estimativa dos efeitos
Intercepto		0,000002*	3,852842	3,852842
X₁	11,4725	0,042866*	0,06769	0,13538
X₁²	8,4919	0,061791	0,060505	0,12101
X₂	60,2542	0,004448*	-0,155128	-0,31026
X₂²	2,21	0,233827	-0,030866	-0,06173
X₃	140,24	0,001295*	0,236664	0,473328
X₃²	12,5597	0,038255*	0,073583	0,147166
X₁.X₂	1,9807	0,254034	-0,03675	-0,0735
X₁.X₃	0,0008	0,97889	0,00075	0,0015
X₂.X₃	3,7401	0,148592	-0,0505	-0,101
Falta de ajuste	16,5661	0,021493*		
R² = 0,73858				

X₁= Temperatura na parte final do barril (°C)

X₂= Umidade de processamento (%)

X₃= Velocidade do parafuso (rpm)

*= Diferença significativa (p<0,05)

Verificou-se que houve um efeito significativo (p<0,05) para todas as variáveis em estudo nos seus coeficientes lineais quanto para os quadráticos só foi verificado para a variável velocidade do parafuso. Não houve evidencia de que as interações apresentassem essas diferenças de maneira significativa (p >0,05).

De acordo com os resultados expressos na Tabela 21 a variável resposta absorção de água no tratamento controle, observa-se que o intercepto foi significativo ao nível de 5% de probabilidade, indicando que neste caso, o ponto central foi escolhido corretamente. Além disso, o coeficiente de determinação expressou um valor baixo, explicando 73,85% da variação total da resposta, deixando menos de 27% atribuídos aos resíduos. Evidencia-se a

falta de ajuste do modelo aos dados experimentais, uma vez que, a variação foi estatisticamente significativa ($p < 0,05$). Assim, de acordo com estes valores, pode-se sugerir que este modelo não é preditivo.

A equação do modelo matemático proposto para as variáveis independentes codificadas fica reescrita como:

$$IAA = 3,85 + 0,067 X_1 - 0,15 X_2 + 0,23 X_3 + 0,073 X_3^2 \quad (\text{Equação 17})$$

Na Figura 16a. apresentam-se os efeitos das variáveis quantitativas Temperatura final do barril ($^{\circ}\text{C}$) e Umidade (%), no Índice de Absorção do Tratamento Controle.

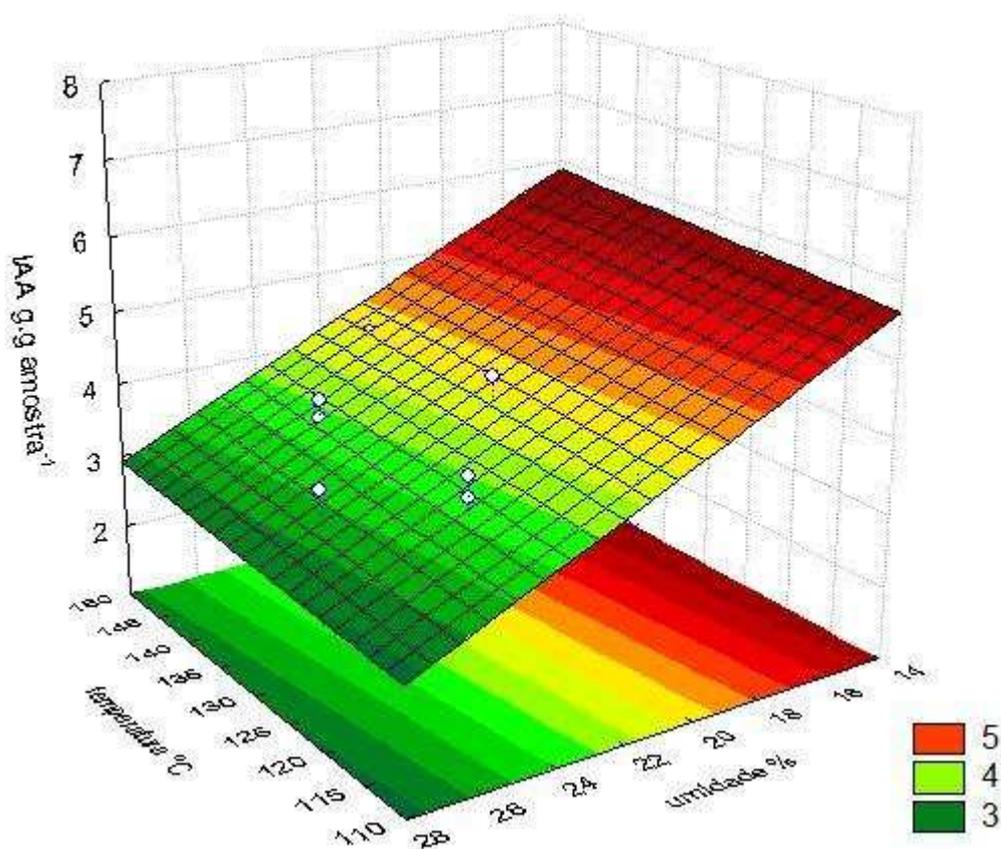


Figura 16a. Efeito das variáveis quantitativas Temperatura final do barril ($^{\circ}\text{C}$) e Umidade (%), no índice de absorção do tratamento controle

Observa-se na figura o efeito linear que estão exercendo as duas variáveis (umidade e temperatura), sendo que se obteve quase que um valor constante do índice quando o teor de umidade foi alto mesmo tendo variação na temperatura. Fixando a temperatura e diminuindo o teor de umidade a absorção de água mostrou tendência a aumentar. Assim, observou-se maior influência na variável resposta em baixos teores de umidade independente da temperatura de processamento.

Na Figura 16b apresentam-se os efeito das variáveis quantitativas Temperatura final do barril ($^{\circ}\text{C}$) e velocidade (rpm), no Índice de Absorção de Água do Tratamento controle.

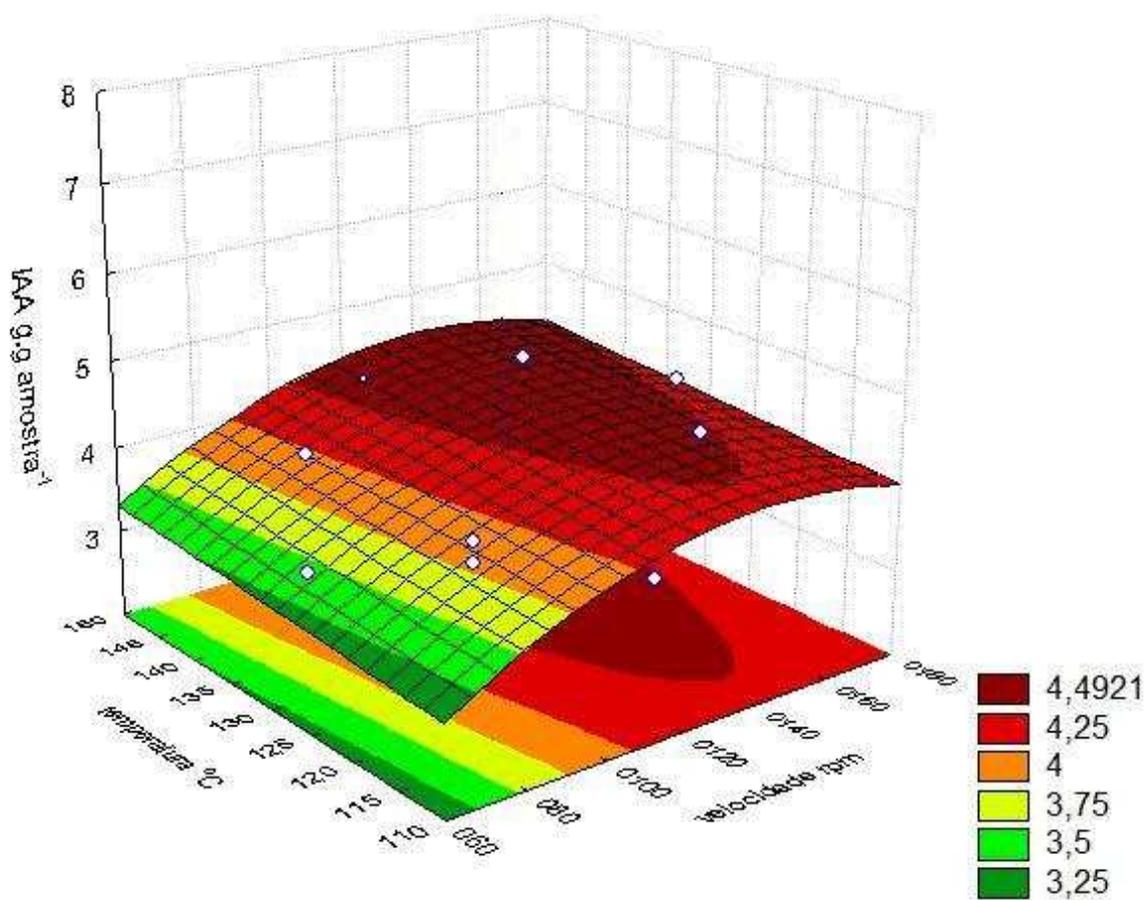


Figura 16b. Efeito das variáveis quantitativas Temperatura final do barril (°C) e velocidade do parafuso (rpm), no índice de absorção do tratamento Controle

Observa-se nesta figura a relação das variáveis temperatura e velocidade sobre o índice de absorção. Nesta combinação dos efeitos lineares da temperatura e os quadráticos referentes à velocidade do parafuso, encontraram-se altos valores para o índice de absorção de água em velocidades acima das 140rpm na medida em que a temperatura ficava acima de 147°C. Mesmo assim, o modelo não é preditivo pelos baixos valores do coeficiente de regressão (73,85%). Um aumento na velocidade traz como consequência uma maior taxa de cisalhamento o que indica que há uma maior degradação e/ou cozimento do material (ASCHERI, 2007). É o que se observa na Figura 15, a maior velocidade o IAA é maior, até um limite, depois decresce.

Na Figura 16c apresenta o efeito das variáveis quantitativas Velocidade (rpm) e Umidade (%), no índice de absorção do tratamento Controle.

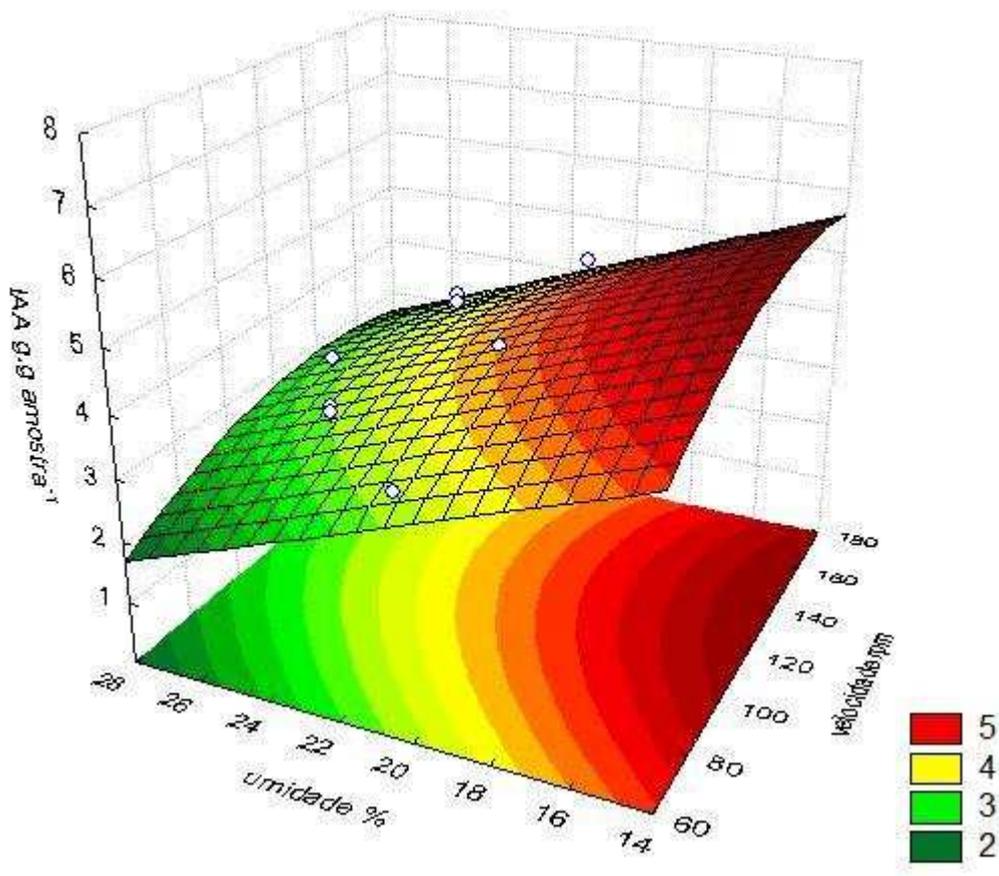


Figura 16c. Efeito das variáveis quantitativas velocidade do parafuso (rpm) e umidade (%), no índice de absorção do tratamento Controle.

O efeito combinado das variáveis apresentadas no gráfico não tem diferenças significativas ($p > 0,05$) mesmo estas estando exercendo um efeito tanto linear no caso da umidade, quanto quadrático e linear, no caso da velocidade de rotação do parafuso na absorção de água da ração animal.

Valores menores de umidade representam um efeito inverso sobre a variável dependente IAA.

ii. IAA para a Ração contendo Biocitro® AA (T1)

Na Tabela 23 são apresentados os resultados obtidos na caracterização da variável dependente Índice de Absorção de Água.

Tabela 23. Media e desvio padrão do Tratamento T1 correspondente ao Índice de Absorção de Água

T1 Experimento	Níveis decodificados das variáveis			IAA	DP
	X ₁	X ₂	X ₃		
1	120	18	90	4,13	0,131
2	140	18	90	4,05	0,168
3	120	24	90	3,66	0,098
4	140	24	90	3,69	0,128
5	120	18	150	4,17	0,002
6	140	18	150	4,41*	0,047
7	120	24	150	4,01	0,162
8	140	24	150	4,22	0,102
9	130	21	120	3,62	0,074
10	130	21	120	3,83	0,119
11	130	21	120	3,59	0,071
12	130	21	120	3,73	0,051
13	113	21	120	3,60	0,081
14	147	21	120	4,12	0,033
15	130	16	120	4,02	0,115
16	130	26	120	3,75	0,115
17	130	21	70	3,27**	0,021
18	130	21	170	4,16	0,09

X₁= Temperatura na parte final do barril (°C)

X₂= Umidade de processamento (%)

X₃= Velocidade do parafuso (rpm)

IAA: Índice de Absorção de Água (g gel·g matéria seca⁻¹)

T1: ração adicionada com vitamina C Biocitro® AA

DP: Desvio Padrão

*: Valor máximo

** : Valor mínimo

Os valores máximos neste tratamento para IAA foi quando se encontrou a uma temperatura de 140°C, com uma umidade de 18% e 150rpm (4,4); o valor mínimo foi 3,26

quando tinha uma configuração de 130 °C no barril, 21% de umidade e 70rpm. A média no ponto central reportou 3,86.

De acordo com os resultados expressos na Tabela 24, para a variável resposta índice de absorção de água, o ponto central foi escolhido corretamente já que houve uma diferença significativa ($P < 0,05$) no intercepto.

Tabela 24. Teste F da análise de variância, coeficiente de regressão, estimativa dos efeitos e respectivas probabilidades (P) do modelo de regressão quadrática aplicado ao índice de absorção de água do tratamento T1

Fonte de variação	Teste F	P	Coeficiente de Regressão	Estimativa dos efeitos
Intercepto		0,000007	3,679468	3,679468
X₁	9,69309	0,052743	0,092726	0,185452
X₁²	11,84452	0,041188	0,106493	0,212986
X₂	15,79611	0,028482	-0,118371	-0,236742
X₂²	13,92164	0,033548	0,115454	0,230908
X₃	46,40058	0,006471	0,202877	0,405754
X₃²	3,2258	0,170352	0,055575	0,11115
X₁.X₂	0,07645	0,800119	0,01076	0,02152
X₁.X₃	2,64827	0,202143	0,063329	0,126658
X₂.X₃	2,38207	0,220422	0,060062	0,120124
Falta de ajuste	3,92036	0,145049		
$R^2 = 0,81359$				

X₁= Temperatura na parte final do barril (°C)

X₂= Umidade de processamento (%)

X₃= Velocidade do parafuso (rpm)

T1: ração adicionada com vitamina C Biocitro® AA

*= Diferença significativa ($p < 0,05$)

Com relação às variáveis, podemos perceber que houve contribuição linear da umidade e da velocidade do parafuso e quadrática da umidade e da temperatura, nos valores de absorção de água. Houve um efeito quadrático significativo ($p < 0,05$) tanto da temperatura final do barril quanto para umidade de processamento.

O coeficiente de determinação expressou um valor que explica um 81% da variação total da variável resposta em torno da média sendo que menos de 19% foi atribuído aos resíduos. Não se evidencia a falta de ajuste do modelo aos dados experimentais, uma vez que, a variação devido à falta de ajuste, não é estatisticamente significativa ($P > 0,05$).

A equação do modelo matemático proposto para as variáveis independentes codificadas fica rescrita como:

$$IAA = 3,68 - 0,1183 X_2 + 0,202 X_3 + 0,106 X_1^2 + 0,115 X_2^2 \quad (\text{Equação 18})$$

Na Figura 17a apresentam-se os efeitos das variáveis quantitativas temperatura na zona 3 do barril (°C) e Umidade (%), no índice de absorção do tratamento ração adicionada com vitamina C Biocitro® AA.

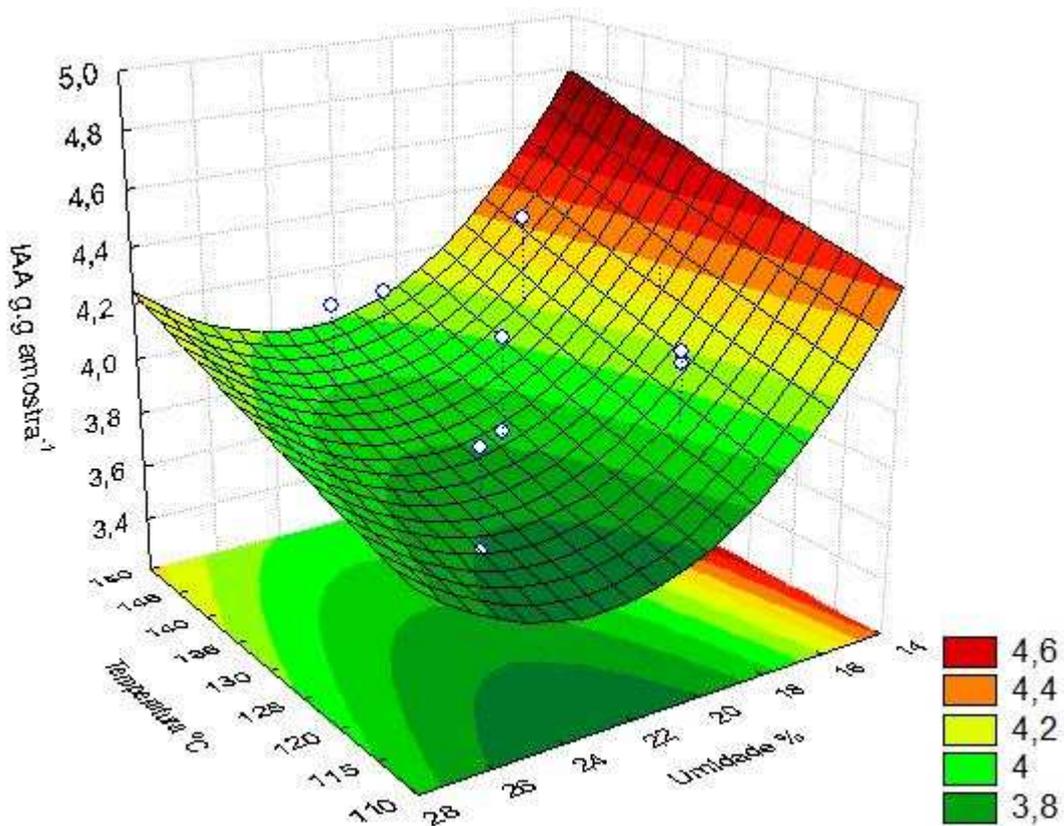


Figura 17a. Efeito das variáveis quantitativas Temperatura final do barril (°C) e Umidade (%), no índice de absorção do tratamento T1.

Observa-se que há um aumento inversamente linear do IAA a partir de 16 a 22% de umidade. No mesmo gráfico a temperatura mostra pouca influência nos resultados, mesmo observando se uma linha que decresce no eixo da temperatura.

Na Figura 17b apresentam-se os efeitos das variáveis quantitativas Temperatura final do barril (°C) e Velocidade do parafuso (rpm), no Índice de Absorção do Tratamento T1: ração adicionada com vitamina C Biocitro® AA.

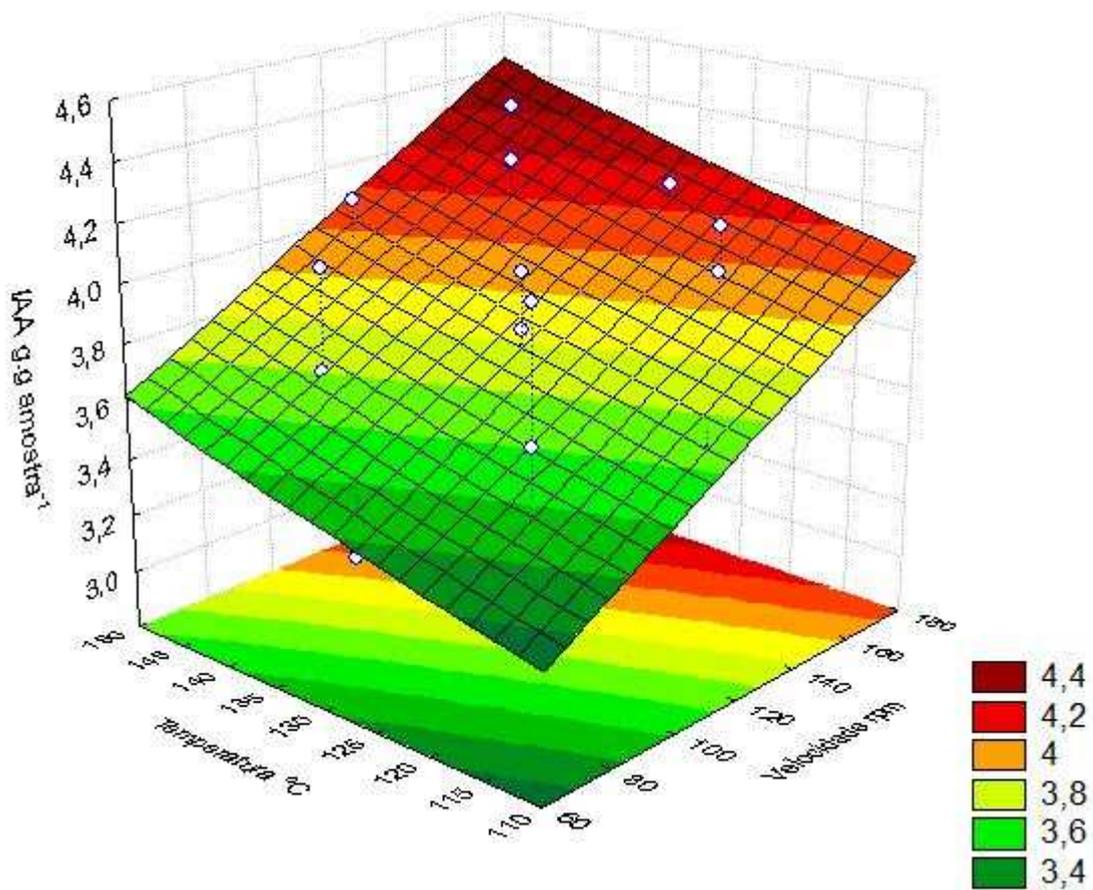


Figura 17b. Efeito das variáveis quantitativas Temperatura final do barril (°C) e velocidade do parafuso (rpm), no índice de absorção do tratamento T1.

Na Figura 17b observa-se que na medida em que se aumenta a temperatura há um discreto aumento do IAA. O mesmo fenômeno é observado com a velocidade do parafuso, que de 70 a 170rpm apresenta também um discreto aumento do IAA. Isso se explica, pelo fato de ter, as duas variáveis, um comportamento significativo ($p < 0,05$) nos seus coeficientes quadráticos dentro do sistema.

Na Figura 17c estão apresentados os efeitos das variáveis quantitativas Velocidade (rpm) e Umidade (%), no índice de absorção do tratamento T1: ração adicionada com vitamina C Biocitro® AA

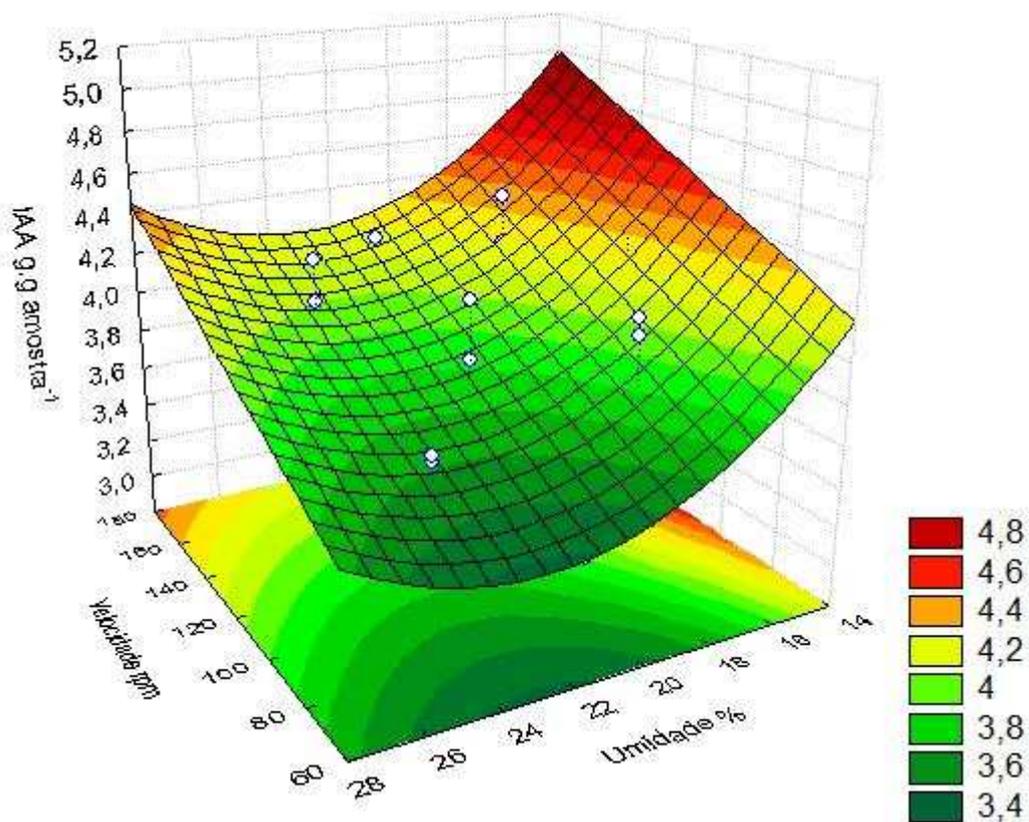


Figura 17c. Efeito das variáveis quantitativas velocidade do parafuso (rpm) e umidade (%), no índice de absorção do tratamento T1.

Nesta Figura observou-se que na medida em que se aumenta a umidade, os valores de IAA diminuem. Mas valores baixos da mesma indicam valores altos de IAA, apresentando um efeito quadrático. No entanto a velocidade só tem efeitos lineais.

Só a variável umidade apresentou um efeito negativo, assim, quando houve um aumento deste valor no sistema, a estrutura amilácea teve uma menor degradação e o índice de absorção foi menor concordando com estudos já elaborados CARVALHO *et al.*, 2002; MERCIER; FEILLET, 1975; EL-DASH *et al.*, 1983)

Com respeito à variável operacional velocidade de parafuso encontrou-se uma contribuição linear positiva significativa ($p < 0,05$); sendo que a taxa de cisalhamento do material tem uma relação positiva com a rotação, as estruturas amiláceas do material que está sendo processado sofre maior degradação e/ou cozimento (ASCHERI, 2007) atingindo valores máximos de gelatinização após os quais sofrem uma queda. Portanto, verifica-se que os aumentos de temperatura derivados de valores altos de cisalhamento fazem com que o sistema apresente mais amido disponível com o subsequente aumento dos valores de absorção de água até o valor máximo de gelatinização do mesmo, ponto no qual fará com que o índice decresça.

iii. IAA para a Ração contendo Biocitro® Pó PG (T2)

Na Tabela 25 são apresentados os resultados obtidos na caracterização da variável dependente Índice de Absorção de Água.

Tabela 25. Media e desvio padrão do Tratamento T2 correspondente ao Índice de Absorção de Água

T2 Experimento	Níveis decodificados das variáveis			IAA	DP
	X ₁	X ₂	X ₃		
1	120	18	90	4,05	0,1
2	140	18	90	3,86	0,013
3	120	24	90	3,80	0,172
4	140	24	90	3,61	0,058
5	120	18	150	4,49*	0,115
6	140	18	150	4,30	0,053
7	120	24	150	4,24	0,162
8	140	24	150	4,14	0,167
9	130	21	120	3,67	0,061
10	130	21	120	3,50	0,042
11	130	21	120	3,65	0,04
12	130	21	120	3,61	0,064
13	113	21	120	3,51	0,053
14	147	21	120	4,01	0,036
15	130	16	120	3,77	0,104
16	130	26	120	3,46**	0,126
17	130	21	70	3,47	0,072
18	130	21	170	4,27	0,072

X₁= Temperatura na parte final do barril (°C)

X₂= Umidade de processamento (%)

X₃= Velocidade do parafuso (rpm)

IAA: Índice de Absorção de Água (g gel·g matéria seca⁻¹)

T2: ração adicionada com vitamina C Biocitro® Pó PG

DP: Desvio Padrão

*: Valor máximo

** : Valor mínimo

O valor máximo para IAA (4,49) foi quando se encontrou a uma temperatura de 120°C na parte final do barril, com uma umidade de 18% e 150rpm; já o valor mínimo (3,46) foi em

uma configuração de 130 °C no barril, 26% de umidade e 120rpm. O valor do ponto central foi 3,6.

Assim como foi encontrado para os valores do tratamento T1 e concordando com os resultados expressos na Tabela 26, para a variável resposta Índice de Absorção de Água. O ponto central foi escolhido corretamente já que houve uma diferença significativa ($P < 0,05$).

Tabela 26. Teste F da análise de variância, coeficiente de regressão, estimativa dos efeitos e respectivas probabilidades (P) do modelo de regressão quadrática aplicado ao índice de absorção de água do tratamento T2

Fonte de variação	Teste F	P	Coeficiente de Regressão	Estimativa dos efeitos
Intercepto		0,000003	3,593155	3,593155
X₁	0,3455	0,597982	0,012041	0,024082
X₁²	31,3723	0,011244	0,119211	0,238422
X₂	26,4156	0,014271	-0,105288	-0,210576
X₂²	10,7334	0,046559	0,069729	0,139458
X₃	130,6167	0,001438	0,234126	0,468252
X₃²	55,3466	0,005027	0,158339	0,316678
X₁.X₂	0,2047	0,681681	0,01211	0,02422
X₁.X₃	0,2057	0,680991	0,012139	0,024278
X₂.X₃	0,1334	0,739194	0,009775	0,01955
Falta de ajuste	16,6894	0,021269		
$R^2 = 0,72809$				

X₁= Temperatura na parte final do barril (°C)

X₂= Umidade de processamento (%)

X₃= Velocidade do parafuso (rpm)

T2: ração adicionada com vitamina C Biocitro® Pó PG

*= Diferença significativa ($p < 0,05$)

Verificou-se que houve um efeito linear significativo ($p < 0,05$) para as variáveis Umidade e Velocidade de parafuso. Houve um efeito quadrático significativo para todas as variáveis em estudo ($p < 0,05$), mas as interações entre essas variáveis não evidenciaram diferenças estatísticas significativas ($P > 0,05$).

O Coeficiente de regressão expressou um valor baixo explicando 72,8% da variação total da resposta, deixando menos de 28% atribuídos aos resíduos. Evidencia-se a falta de ajuste do modelo aos dados experimentais, uma vez que, a variação foi estatisticamente significativa ($p < 0,05$). De acordo com estes valores, pode-se sugerir que este modelo não é preditivo.

A equação do modelo matemático proposto para as variáveis independentes codificadas fica rescrita como:

$$IAA = 3,59 - 0,105 X_2 + 0,23 X_3 + 0,12 X_1^2 + 0,069 X_2^2 + 0,15 X_3^2 \quad (\text{Equação 19})$$

Na Figura 18a apresentam-se os efeitos das variáveis quantitativas temperatura (°C) e Umidade (%), no índice de absorção do tratamento T2: ração adicionada com vitamina C Biocitro® Pó PG

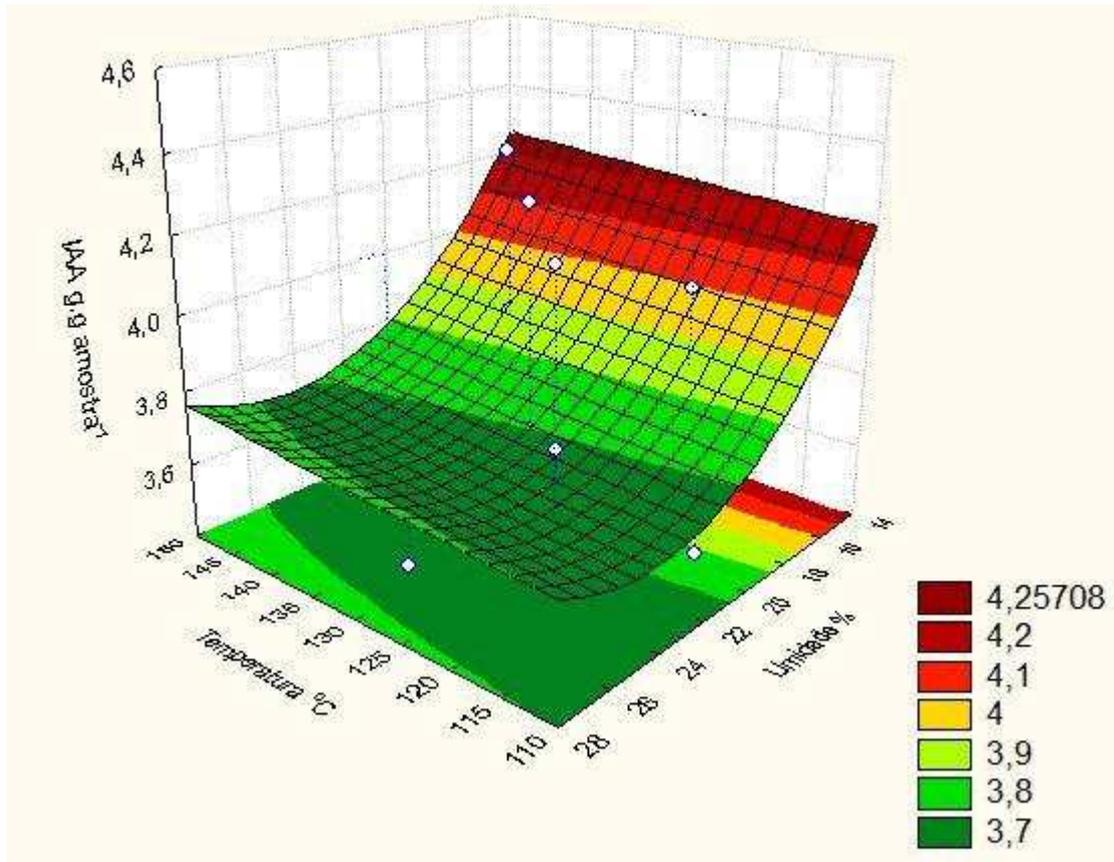


Figura 18a. Efeito das variáveis quantitativas Temperatura final do barril (°C) e Umidade (%), no índice de absorção do tratamento T2

No gráfico se têm o efeito das variáveis umidade e temperatura do barril as quais, mesmo exercendo um efeito quadrático (a umidade também tem um efeito linear), no efeito combinado destas a diferença foi não significativa ($p > 0,05$). Porém, é a diminuição da umidade que exerceu maior influência na absorção de água da ração animal.

A Figura 18b apresenta o efeito das variáveis quantitativas temperatura na zona 3 do barril (°C) e velocidade do parafuso (rpm), no índice de absorção do tratamento T2: ração adicionada com vitamina C Biocitro® Pó PG.

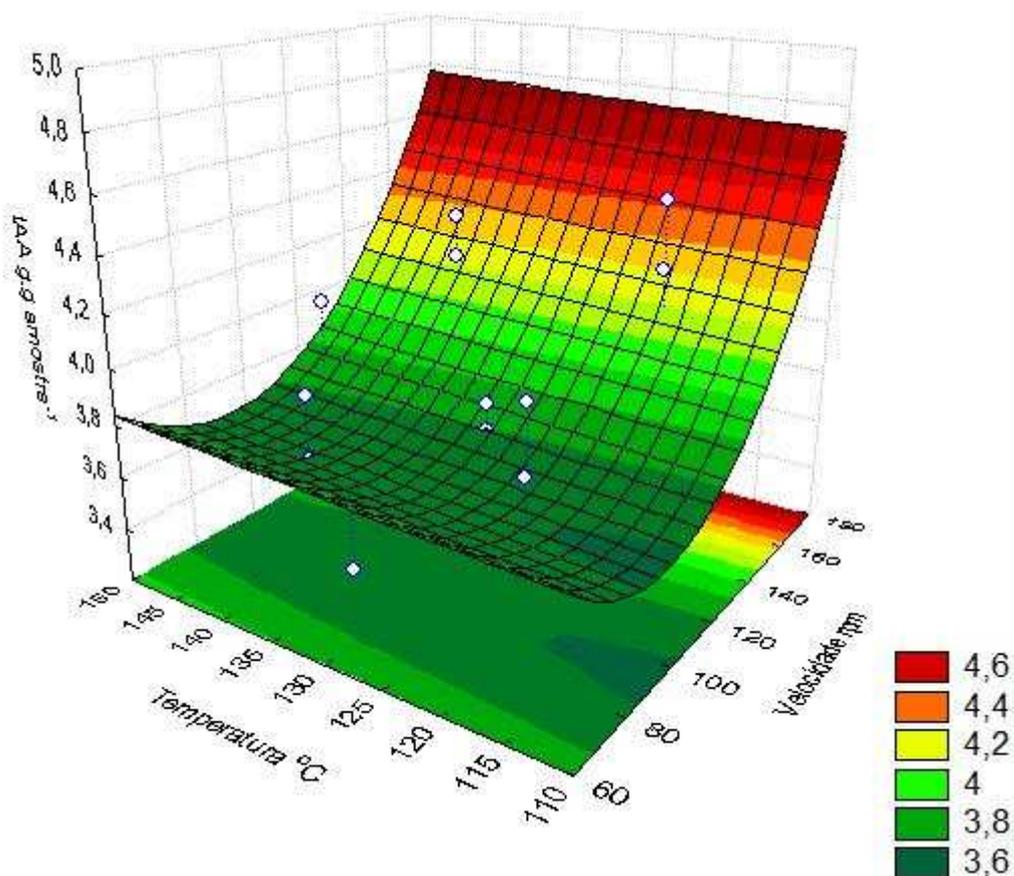


Figura 18b. Efeito das variáveis quantitativas Temperatura final do barril (°C) e velocidade do parafuso (rpm), no índice de absorção do tratamento T2

A temperatura apresentou só efeitos quadráticos, enquanto que a velocidade além destes apresentou efeitos lineais. Devido a este fato os efeitos concomitantes mostraram claramente que foi a velocidade que teve maior efeito sobre a absorção de água da ração animal neste tratamento.

Na Figura 18c apresentam-se os efeitos combinados das variáveis quantitativas umidade (%) e velocidade do parafuso (rpm), no índice de absorção do tratamento T2: ração adicionada com vitamina C Biocitro® Pó PG

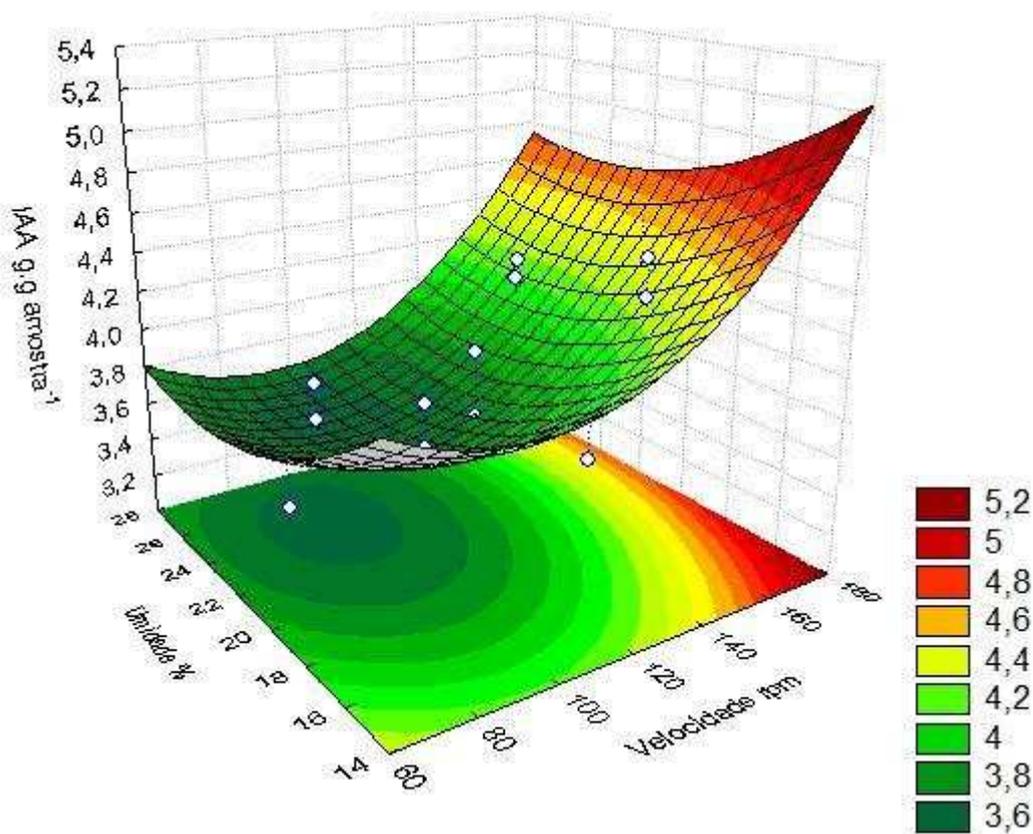


Figura 18c. Efeito das variáveis quantitativas velocidade do parafuso (rpm) e umidade (%), no índice de absorção de água do tratamento T2

Verificaram-se através do gráfico os efeitos negativos lineais da umidade e os positivos para velocidade. As duas variáveis apresentaram efeitos tanto quadráticos quanto lineais. Mas, na combinação não foi observada diferenças significativas ($p > 0,05$), sendo a velocidade a que teve maior efeito acrescentando os valores o que foi mais notório a valores de umidade baixos.

Nath e Rao (1981) verificaram existência de uma conformação de proteína, permitindo que a interação com as moléculas de água seja dada pelos sítios estericamente disponíveis. Os baixos valores de IAA pode ser pelo impedimento estérico destes sítios ligantes. Assim, uma alta hidrofobicidade na superfície de proteínas desnaturadas do isolado protéico de soja, podem promover a formação de uma matriz de proteína capaz de reter água no interior da sua estrutura. (WARGNER; AÑON, 1990)

O aumento dos grupos sulfidril $-SH$ no sistema pode trazer como consequência uma diminuição do IAA (WARGNER; AÑON, 1990) sendo que para as aves, na formulação da dieta é indispensável à adição de metionina e cistina (dois dos três aminoácidos que contêm enxofre) o que poderia explicar esses valores baixos.

A proteína de soja diminui a absorção de água do amido do arroz (FERNANDES, *et al.*, 2003). Assim, a natureza do amido e da proteína, e o tipo dos complexos de amido-proteína formados podem ter afetado esse parâmetro segundo o observado por Gujska e Khan (1991), pelas interações que provocaram reações de Maillard, formando compostos difíceis e de difícil hidrólise (BERTIPAGLIA *et al.*, 2008).

4.7 Resultados Cromatográficos de Vitamina C

Na Tabela 27 apresentam-se os valores de pureza, concentração usada no experimento e valor de vitamina C em $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$.

Tabela 27. Percentuais de pureza dos encapsulados de vitamina C e proporção usada no experimento

	Biocitro® AA (T1)	Biocitro® Pó PG (T2)
Pureza %	22,46	11,1
Concentração ppm	500	500
$\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ Vitamina C	112,3	55,5

O produtor do Biocitro® reportou uma pureza de 22,46% e 11,1% de vitamina C para as apresentações Biocitro® AA (T1) e Biocitro® Pó PG (T2) respectivamente. O experimento foi realizado a uma concentração do produto de $500 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ o que deu como resultado uma concentração de vitamina C de $112,3 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ para a apresentação Biocitro® AA (T1) e $55,5 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ para a apresentação Biocitro® Pó PG.

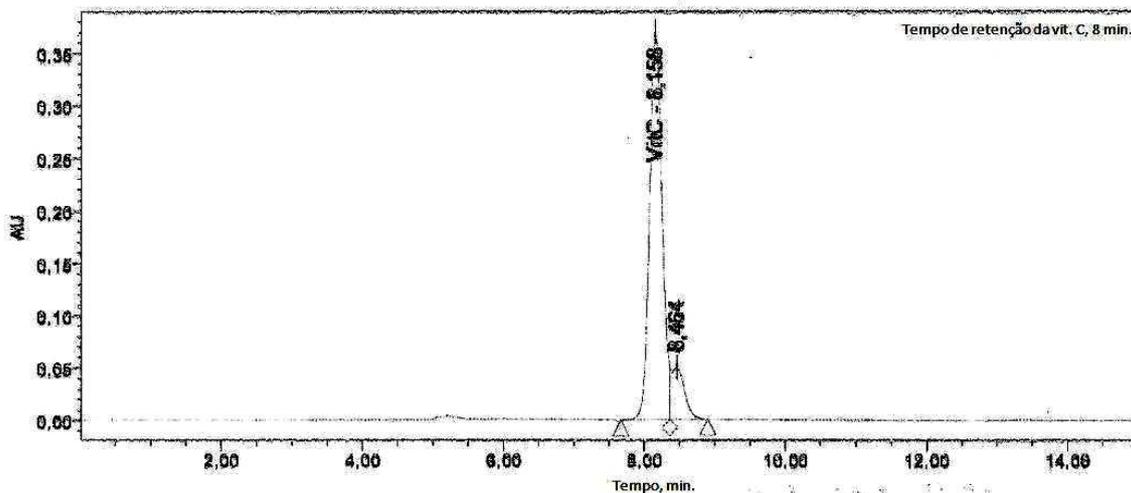
Na Tabela 28 apresentam-se a concentração usada de produto na análise, concentração de vitamina C e quantificação cromatográfica e sua diferença no percentual da análise do produto Biocitro®.

Tabela 28. Proporção usada no teste, quantificação cromatográfica e diferença de recuperação de vitamina C

	Biocitro® AA (T1)	Biocitro® Pó PG (T2)
Concentração teste ppm	5 000	6 666,667
$\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ Vitamina C	1 123	739,92
Quantificação	504,5	3,5
Diferença %	55,07	99,9475

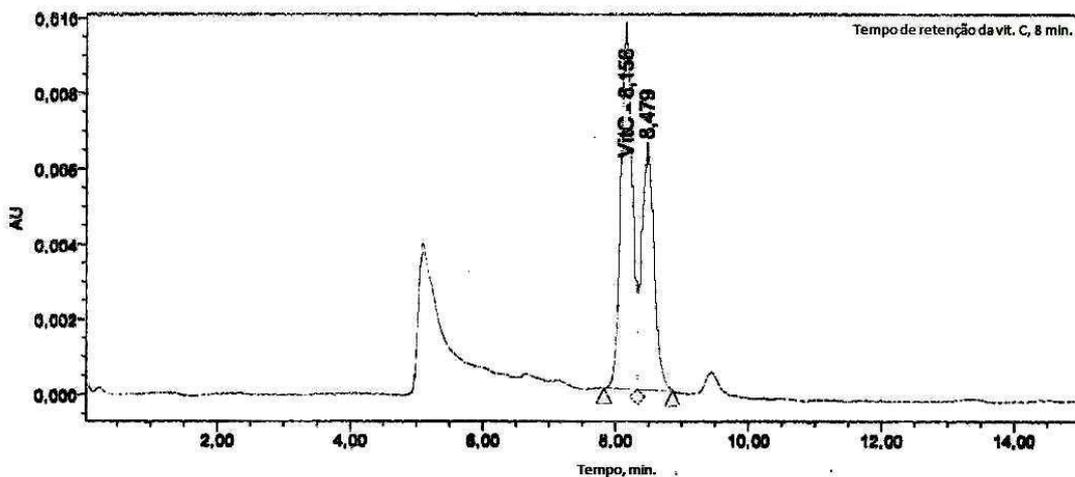
As amostras Biocitro® AA (T1) e Biocitro® Pó PG (T2) apresentaram 504,5 e 3,5 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ de vitamina C respectivamente. Sendo que houve uma perda desta na proporção de 55,07% para T1 e de 99,94% para T2, em relação à concentração usada que foi de 1123 e 739,92 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ de vitamina C respectivamente.

As Figuras 19 e 20 permitem observar as curvas cromatográficas, mostrando a presença da Vitamina C de cada um dos produtos testados.



Name	RT	Area	Height	Conc. (mg/100mL)	Volume da amostra (mL)
1 VitC	8,158	4638671	371993	55,034	2,57700
2	8,484	882642	48774		2,57700

Figura 19. Cromatograma do produto Biocitro® AA



Name	RT	Area	Height	Conc. (mg/100mL)	Volume da amostra (mL)	Dilution
1 VitC	8,158	114586	9488	0,368	2,55220	100,00000
2	8,479	83171	6282		2,55220	100,00000

Figura 20. Cromatograma do produto Biocitro® Pó PG

Após estas análises foram feitos ensaios testando a ração animal preliminar e várias concentrações do produto (250, 500, 750 e 1000 mg·kg⁻¹), não sendo detectado, em nenhum dos casos a presença de vitamina C nas rações.

Adicionalmente, numa tentativa de confirmação, num outro experimento foi usada uma única concentração do produto (500 mg·kg⁻¹) para cada amostra (Biocitro® AA (T1) Biocitro® Pó PG (T2), obtendo-se os mesmos resultados adquiridos inicialmente: a não detecção de vitamina C nas rações testadas.

As Figuras 21 e 22 apresentam os cromatogramas da ração animal permitindo verificar que não houve uma linha clara e definida no tempo de retenção da vitamina C (8 minutos) quando adicionado o composto Biocitro® AA ou mesmo quando adicionado Biocitro® Pó PG.

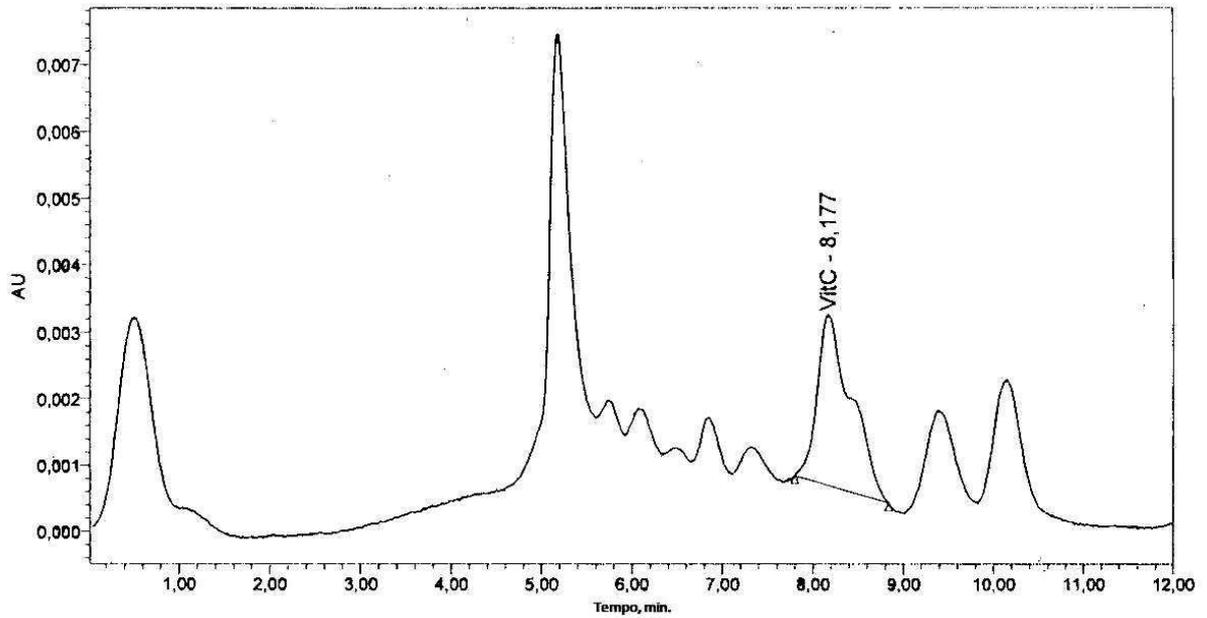


Figura 21. Cromatograma da ração animal com adição de Biocitro® AA

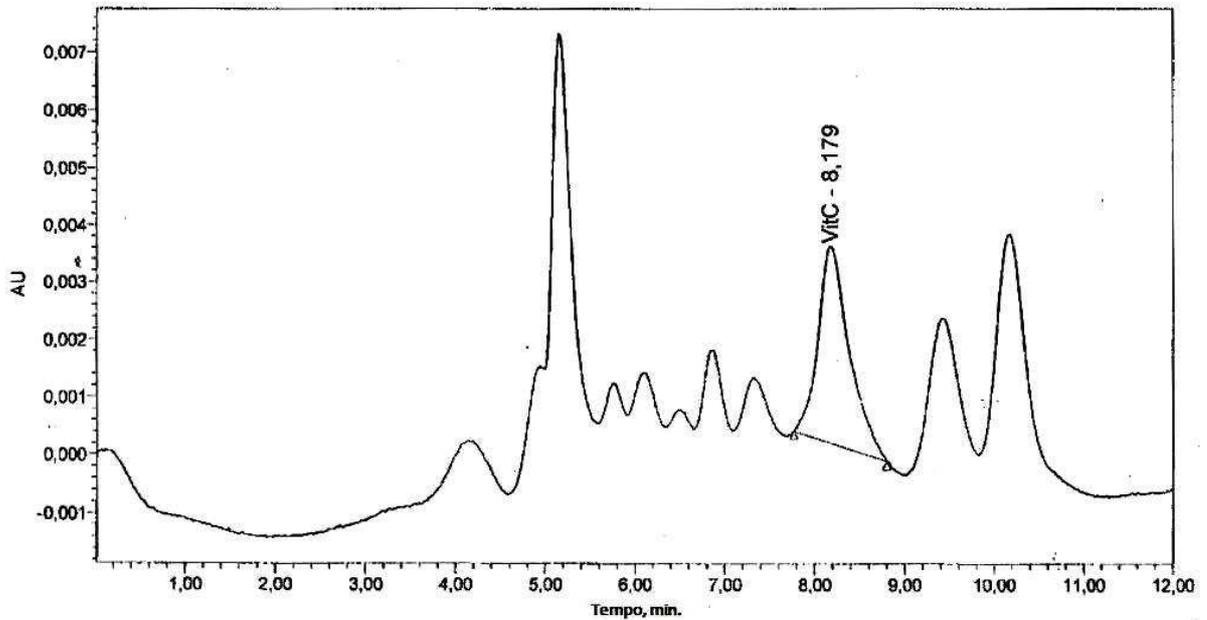


Figura 22. Cromatograma da ração animal com adição de Biocitro® Pó PG.

Não se conseguiu níveis quantificáveis de detecção da vitamina C nos tratamentos propostos. Portanto, o calor conferido durante a extrusão, presumivelmente eliminou a presença de vitamina C, o que demonstraria que o encapsulamento de ambas as amostras provavelmente não foi o suficiente para proteger o esse material termolábil.

5 CONCLUSÕES

1. É possível elaborar rações por extrusão termoplástica. A ração para aves neste estudo apresentou 17,68% de proteína na mistura dos ingredientes. Sendo que os carboidratos alcançaram valores de 61,11% e gordura de 5,12%.
2. A adição de vitamina C encapsulada na forma de Biocitro® AA e Biocitro® Pó PG na mistura como forma de garantir a presença de vitamina C não foi bem sucedida, nas análises cromatográficas esta não foi detectada. Isto implica que essa forma de conservar esse antioxidante não seria apropriada, devido a que o tratamento térmico ocorrido na extrusão estaria eliminando essa fonte.
3. Os resultados de cromatografia sugerem que a adição de vitamina C encapsulada em misturas são degradados pelo processo de extrusão provavelmente devido ao efeito do calor, cisalhamento ocorridos neste processo. Sendo assim, não seria recomendável a adição de vitamina C encapsulada em misturas nas quais o processamento térmico aplicado seja a extrusão.
4. Por estes resultados encontrados cabe ressaltar que é muito provável que fontes encapsuladas de vitamina C estejam sendo incorporada em formulações nas quais o processo térmico, se for a temperaturas entre 113 a 147°C, este componente esteja sendo degradado pelo calor do processo.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHEMISTS (AACC). Approved methods of the AACC, 1995.

AMERAH, A.M, et al. Feed particle size: Implications on the digestion and performance of poultry. **World's Poultry Science Journal**, v. 63, p.439-455, 2007.

ANDERSON, R.A.; CONWAY, H.F.; PFEIFER, V. F.; GRIFFIN Jr., L. Gelatinization of corn grits by roll-and extrusion-cooking. **Cereal Science Today**, Saint Paul, vol.14, nº.1, p. 4 – 11, 1969.

ANDRIGUETO, J. M.; PERLY, L.; MINARDI, I.; GEMAEL, A.; FLEMMING, J. S.; SOUZA, G. A.; BONA FILHO, A. **Nutrição animal: as bases e os fundamentos da nutrição animal- os alimentos**. 4. ed. São Paulo : Nobel, 1981. v.1, p.23.

ANFAL/SINDIRAÇÕES. SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DE ALIMENTAÇÃO ANIMAL/ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE RAÇÕES. 2009. Setor de Alimentação Animal. Boletim Trimestral. Março 2009.

AOYAGI, Y.; TASAKI I.; OKUMURA J.-I. e MURAMATSU T., Contribution of whole-body protein synthesis to heat production in chicks. In: PROC. 8TH WORLD'S POULTRY SCIENCE ASSOC. **Anais...** Mtg. Nagoya. 1988. p. 995-996.

ASCHERI, D. P. A. Experiências com delineamento experimental em pesquisa com produtos extrusados. **Memórias Curso**. Embrapa CTAA 30 e 31 de Outubro, Rio de Janeiro, 2007.

ASCHERI, J. L. R. Efeito das variáveis de extrusão nas características físicas e químicas de produtos intermediários (half-products). **Tese de Doutorado**. Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP, Campinas, 1994. 128p.

ASCHERI, J. L. R et al. Efecto de la formulación sobre la expansión y viscosidad de snacks producidos por extrusión termoplástica. **Alimentaria**. Madrid, v.286 n.12 p.111-118, 1995.

ASCHERI, J.L.R. Extrusão termoplástica de amidos e produtos amiláceos. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CTAA, 1997. 43 p. EMBRAPA-CTAA. **Documentos; n. 19**.

ASCHERI, J. L. R. Princípios da produção de snacks de terceira geração por extrusão. In: MEMÓRIAS CURSO DE PROCESSO DE EXTRUSÃO DE ALIMENTOS: ASPECTOS TECNOLÓGICOS PARA O DESENVOLVIMENTO E PRODUÇÃO DE ALIMENTOS EXTRUSADOS PARA CONSUMO HUMANO E ANIMAL. **Anais...** EMBRAPA-CTAA Rio de Janeiro, agosto, 2007.

ASCHERI, J. L. R.; CARVALHO, C. W. P. Caracterización físico-química de snacks de grits de maíz producidos por extrusión termoplástica. **Alimentaria**, p.87-91, Jun. 1996.

ASCHERI; CARVALHO, C. W. P. Effect of dry-milling on physicochemical characteristics of white corn extrudates. **Alimentaria**, Madrid, v.37, n.305, p.115-119, 1999

ASCHERI, J. L. A.; WANDERLEI, C. Efecto de los Parámetros de Extrusión, Características de Pasta y Textura de Pellets (Snacks de Terceira Geración) producidos a partir de Trigo y Maiz. **Alimentaria**. p. 93-98, Ene-Feb, 1997.

ASHOOR, S. H.; WOODROW C. M.; WELTY J. Liquid chromatographic determination of ascorbic acid in foods. **J. AOAC**, v.67, p. 78-80, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS PRODUTORES E EXPORTADORES DE FRANGOS. Estatísticas do mercado de frango no Brasil. Disponível em: <http://www.abef.com.br/Estatisticas/MercadoMundial/MercadoMundial.asp>. Acesso em: 13 mar. 2009

ASSOCIATION OF OFFICIAL AGRICULTURAL CHEMISTS (AOAC). Official Methods of Analysis of the Association of Official Agriculture Chemists. Washington, 2000.

ASSOCIATION OF OFFICIAL AGRICULTURAL CHEMISTS (AOAC). Official Methods of Analysis of the Association of Official Agriculture Chemists. Washington, 2005.

ATHAR, N.; HARDACRE, A.; TAYLOR G.; CLARK S.; HARDING R.; McLAUGHLIN, J. Vitamin retention in extruded food products. **Journal of Food Composition and Analysis** v.19, p.379–383, 2006.

BARBOSA, F. J. V., BATISTA, J. L., FIGUEIREDO, A.V. *et al.* Níveis de energia metabolizável em rações para frangos de corte mantidos em ambiente de alta temperatura. **Revista Bras. de Zoot.** v.37, p. 849-855, 2008.

BARTOV, I.; PLAVNIK, I. Moderate excess of dietary protein increases breast meat yield of broiler chicks. **Poultry Sci.** v.77, p. 680-688, 1998.

BAZOLLI, R. S. Influência do grau de moagem de ingredientes amiláceos utilizados em rações extrusadas sobre os aspectos digestivos e respostas metabólicas em cães. **Tese de doutorado**. Universidade Estadual Paulista. São Paulo. p.82, 2007

BEEHLER, C. J. SIMCHUK, M. L., TOTH, K. M. *et al.* Blood sulfhydryl level increases during hyperoxia: a marker of oxidant lung injury. **J Appl Physiol**; v.67, n. 5, p. 1070, 1989.

BERTECHINI, A. G.; ROSTAGNO, H. S., SOARES, P. R. *et al.* Efeitos de programas de alimentação e níveis de energia da ração sobre o desempenho e a carcaça de frangos de corte. **Revista SBZ**. v, 20, n. 3, p. 267-280, 1991.

BERTECHINI, A. G. Palestras Universidade Federal de Lavras. Lavras, MG. 2008.

BERTIPAGLIA, L. M. A.; MELO, G. M. P.; SUGOHARA, A.; MELO, W. J.; BERTIPAGLIA, L. A. Alterações bromatológicas em soja e milho processados por extrusão. **R. Bras. Zootec.**, v.37, n.11, p.2003-2010, 2008.

BOBBIO, F. O.; BOBBIO, P. A. **Introdução à química de alimentos**. 2ª ed. São Paulo, Varela, 1995.

BORDERÍAS, A. J.; MONTERO, P. Fundamentos de la funcionalidad de las proteínas en alimentos. **Revista Agroquímica e Tecnología de Alimentos**. Valencia, v.28, n.2, p.159-169, 1988.

BORGES, J. T. da S. Elaboração de macarrão pré-cozido à base de farinha integral de quinoa (*Chenopodium quinoa*, Willd) e farinha de arroz (*Oryza sativa*, L) utilizando o processo de extrusão termoplástica. **Dissertação de Mestrado**. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2002. 115p.

BOX, G. E. P.; DRAPER, N. R. Empirical model-building with response surface. 1967.

BUENO, A. L.; CZEPIELEWSKI, M. A. Micronutrientes envolvidos no crescimento. Artigo de revisão. **Rev HCPA**. v.27, n.3, p. 47-56, 2007.

CANO M. P.; de ANCOS, B.; SÁNCHEZ-MORENO, C. Altas presiones. Nueva alternativa para la mejora de la calidad y seguridad en vegetales frescos cortados. In: SIMPOSIUM NUEVAS TECNOLOGÍAS DE CONSERVACIÓN Y ENVASADO DE FRUTAS Y HORTALIZAS, VEGETALES FRESCOS CORTADOS. **Anais...** La Habana, Cuba. Mar., 2005.

CARDOSO, J. A. Níveis de fósforo disponível e cálcio em rações com fitase para frangos de corte de oito a 35 dias de idade. **Dissertação de Mestrado**. Universidade Estadual de Lavras. UFLA, Minas Gerais, 2008. 56p.

CARVALHO, R. V. Formulações de *snacks* de terceira geração por extrusão. Caracterização texturométrica e microestrutural. **Dissertação de Mestrado**. Universidade Estadual de Lavras. UFLA, Minas Gerais, 2000. 88p.

CARVALHO, F. C.; VEGRO, C. L. R.; ZIRLIS, A. E. F. Produção e preços de rações e de alimentos de origem animal, Brasil, 1985-94. **Informações Econômicas**, SP, v.25, n.6, jun. 1995.

CARVALHO, R. V., ASCHERI, J. R. A., CAL-VIDAL, J. Efeito dos parâmetros de extrusão nas propriedades físicas de pellets (3g) de misturas de farinhas de trigo, arroz e banana. **Ciências Agrotécnicas**. v.26, n.5, p.1006-1018, 2002.

CHWALIBOG, A.; EGGUM, B. O.. Effect of temperature on performance, heat production, evaporative heat loss and body composition in chickens. **Arch. Geflugelk.** v.53, p.179-184, 1989.

CHINNASWAMY, R., HANNA, M. A. Optimum extrusion-cooking conditions for maximum expansion of corn starch. **J Food Sci**, v.53, n.3, p.834-836, 1988.

CHEFTEL, J. C. Nutritional effects of extrusion-cooking. **Food Chemistry**, v.20, p.263, 1986.

CHIANG, B. Y.; JOHNSON, J. A. Gelatinization of the starch in extruded products. **Cereal Chem.**, v.54, n.3, p.436-43, 1977.

COLONNA, P.; DOUBLIER, J. L.; MELCION, J. P.; DE MONREDON, F.; MERCIER, C. Extrusion cooking and drum drying of wheat starch. Part I. Physical and macromolecular modifications. **Cereal Chemistry**. St. Paul, v.61, p.538-543, 1984.

CONWAY, H. F. Extrusion cooking of cereals and soybeans. **Food Product Development**, New York, v.5, n.2, p.27-31, 1971.

CONWAY, H. F.; LANCASTER, E. B.; BOOKWALTER, G. N. How extrusion cooking varies products properties. **Food Engineering**, Radnor, v.40, n.11, p.102-114, 1986.

COSTA, S. A. J. Efeito das características granulométricas do grits na produção de snacks e milho solúvel por extrusão. **Tese de Mestrado**. Ciência e Tecnologia de Alimentos. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2004

CUSTÓDIO, D. P.; BRANDSTETTER, E. V.; OLIVEIRA, I. P.; OLIVEIRA, L. C.; SANTOS, K. J. G; MACHADO, O. F. ARAUJO, A. A. Ração: alimento animal perecível. Revista Eletrônica Faculdade Montes Belos, Goiás. v.1, n.2, p. 131 - 147, nov. 2005.

DOZIER, W. A. Pelet de calidad para obtener carne de ave más económica. **Alim. Balanc. Anim.**, v.8, p.16-19, 2001.

EL-DASH, A. A.; GONZALES, R.; CIOL, M. Response surface in the control of thermoplastic extrusion of starch. **J Food Engineering**, v.2, p.129-152, 1983.

EL-DASH, A. A.; GONZALES, R; CIOL, M. Response surface methodology in the control of thermoplastic extrusion of starch. In: JOWITT, R. ed. **Extrusion cooking technology**. London: Elsevier Applied Science. p. 51-74, 1984.

ENSMINGER, M. E.; OLENTINE, M. Feeds and nutrition, California: Ensminger Publ Co., 1978. 144p.

FAO/OMS/WHO. **Necesidades de energia y de proteínas**. Ginebra: OMS, [Série de Relatórios Técnicos]. Ginebra, 1985, 220p.

FELLOWS, P. Extrusão. In.: Tecnología del processado de los alimentos: principios y prácticas. Porto Alegre: Ed. ArtMed, 2006. cap. 13, p. 305-318.

FENNEMA, O. R. **Química de los Alimentos**. Zaragoza: Acribia, 2ª ed, 2000, 1280p.

FERNANDES DE AGUIAR VALIM, M. F. C.; BATISTUTI, J. P. Efeito da extrusão termoplástica no teor de lisina disponível da farinha desengordurada de grão-de-bico (*Cicer arietinum*, L.). **Archivos Latinoamericanos de Nutrición**, v.50, n.3, p.270-273, set. 2000.

FERNANDES, M. S.; WANG, S. H.; ASCHERI, J. L. R.; OLIVEIRA, M. F.; COSTA, S. A. J. Produtos extrusados expandidos de misturas de canjiquinha e soja para uso como petiscos. **Pesq. agropec. bras.** v.37 n.10, Oct. 2002.

FERNANDES, M. S.; WANG, S. H.; ASCHERI, J. L. R.; OLIVEIRA, M. F.; COSTA, S. A. J. Efeito da temperatura de extrusão na absorção de água, solubilidade e dispersibilidade da

farinha pré-cozida de milho soja (70-30). **Ciênc. Tecnol. Aliment.**, v.23 n.2 Campinas, p. 234-239, mai-ago, 2003.

FERREIRA, A. L. A.; MATSUBARA, L. S. Radicais livres: conceitos, doenças relacionadas, sistema de defesa e estresse oxidativo. Artigo de Revisão. **Rev Ass Med Brasil**; v.43, p. 61, 1997.

GERAERT, P. A.; PADILHA, J. C. F.; GUILLAUMIN, S. Metabolic and endocrine changes induced by chronic heat exposure in broiler chickens: growth performance, body composition and energy retention. **Brit. J. Nutr.** v.75, p.195- 204, 1996a.

GERAERT, P. A.; PADILHA, J. C. F.; GUILLAUMIN, S. Metabolic and endocrine changes induced by chronic heat exposure in broiler chickens: biological and endocrinological variables. **Brit. J. Nutr.** v.75, p.205-216, 1996b.

GILBERT, H. F.; Mc LEAN, V. M. Molecular and cellular aspects of thiol-disulfide exchange. **Adv Enzymol Relat Areas Mol Biol.** v.63, p.69-172, 1990.

GÓMEZ, M. E. B. Produção de Snacks de segunda geração, a partir de misturas de farinhas de arroz e batata – doce, por extrusão termoplástica. **Dissertação de Mestrado**. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 1997. 125p.

GOMEZ, M. H.; AGUILERA, J. M. Changes in the starch fraction during extrusion-cooking of corn. **J Food Sci**, Chicago, v.48, n.2, p. 378-381, 1983.

GONZALES, E.; MENDONÇA, J. C. X. Problemas locomotores em frangos de corte. In: VII SIMPÓSIO BRASIL SUL DE AVICULTURA. **Anais...** Chapecó, SC – Brasil. Abril de 2006.

GONZÁLES, J. R; TORRES, R. L; DE GREEF, D. M. Extrusión-cocción de cereales. **Boletim do SBCTA**. Campinas, v.36, n.2, p. 104-115, 2002.

GRISWOLD, R. M. **Estudo experimental dos alimentos**. Ed. Edgard Blücher, 1972. 469p.

GUERREIRO, L. Produtos Extrusados para Consumo Humano, Animal e Industrial REDETEC. Dossiê técnico. Rede de Tecnologia do Rio de Janeiro. Agosto, 2007. Em Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas - SBRT - <<http://www.respostatecnica.org.br>>. Acesso em: 14 jan. 2008

GUJSKA, E.; KHAN, K. Functional properties of extrudates from high starch fractions of navy and pinto beans and corn meal blended with legume high protein fractions. **Journal of Food Science**, v.56, n.2, p.431-435, 1991.

GURSU, M. F.; ONDERCI, M.; GULCU, F.; SAHIN, K. Effects of vitamin C and folic acid supplementation on serum paraoxonase activity and metabolites induced by heat stress in vivo. **Nutrition Research**. v.24, p.157–164, 2004.

GUY, R. C. E. **Extrusión de los alimentos Tecnología y aplicaciones**. Zaragoza: Acribia, 2002, 218p.

GUY, R. C. E.; HORNE, A. W. Extrusion and co-extrusion of cereals. In.: **Food Structure-Its creation and evaluation**. J. M. V. Blanshard e J. V. Michell, eds. Butterworths, London, p. 331-349, 1988.

HALLIWELL B. The role of oxygen radicals in human disease, with particular reference to the vascular system. **Haemostasis**; v.23 (suppl 1), p.118-26, 1993.

HARPER, J. M. **Extrusion of Food**. Boca Raton: CRC Press, 1981. v.2, 174p.

HILCKO, K. P. Avaliação de diferentes graus de moagem em dietas para cães. **Dissertação de mestrado**. Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2008.

HOWLIDER, M. A. R.; ROSE, S.P. Temperature and growth of broilers. **World's Poultry Sci. J.** v.43, p.228-237, 1987.

HUANG, R. F. S.; HSU, Y. C.; LIN, H. L.; YANG, F. L.. Folate Depletion and Elevated Plasma Homocysteine Promote Oxidative Stress in Rat Livers. **J. Nutr.** v.131, p.33-38, 2001.

JANE, J., CHEN, Y. Y., LEE, L. F. MCPHERSON, A. E., WONG, K. S., RADOSAVLJEVIC, M; KASEMSUWAN, T. Effects of amylopectin branch chain length and amylose content on the gelatinization and pasting properties of starch. **Cereal Chemistry**, St. Paul, v.76, n.5, p. 629-637, 1999.

LAWTON, B. T; HENDERSONN, G. A; DELATKA, E. J. The effect of extruder variables on the gelatinization of corn starch. **The Canadian Journal of Chemical Engineering**, Ottawa, v.50, n.2, p. 168-172, 1972.

LEANDRO, N. S. M.; STRINGHINI, J. H.; CAFÉ, M. B.; ORSINE, G. F.; ROCHA, A. C. Granulometria do milho e do farelo de soja sobre o desempenho de codornas japonesas. **Revista Brasileira de Zootecnia**. v.30, n.4, p.1266-1271, 2001.

LIMA,G. M. M; NONES, K. Determinação do tempo ótimo de Mistura de um Misturador de Ração. In: INSTRUÇÃO TÉCNICA PARA O SUINOCULTOR. Embrapa Suínos e Aves. Nº5 1997.

LINKO, P., COLONNA, P. MERCIER, C. High-Temperature, Short-Time Extrusion Cooking, In: **Advances in Cereal Science and Technology**. St. Paul, Minnesota: Y. Pomeranz, IV, 145-235p. 1981.

LUCHT, W. H. Mejoramiento de la producción de pollo por medio de la expansión de alimento. **Ind. Avícola**, outubro, p32-35, 2002.

MATHEW, J. M; HOSENEY, R. C; FAUBION, J. M. Effects of corn sample, mill type, and particle size on corn curl and pet food extrudate. **Cereal Chemistry**, St. Paul, v.76, n.5, p. 621-624, 1999.

MAIA, L. H. Características químicas e propriedades funcionais do mingau desidratado de arroz e soja e, propriedades reológicas e sensoriais deste mingau reconstituído. **Dissertação de Mestrado**. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2000. 110p.

- MAYNE, S.T. Antioxidant Nutrients and Chronic Disease: Use of Biomarkers of Exposure and Oxidative Stress Status in Epidemiologic Research. **J. Nutr.** v.133, p.933S–940S, 2003.
- MENDONÇA, X. M. F. D. A Extrusão Termoplástica no Desenvolvimento de Produtos Derivados de Amarantho e Arroz. **Tese de Doutorado.** Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2005. 182p.
- MERCIER, C.; FEILLET, P. Modification of carbohydrate components by extrusion-cooking of cereal products. **Cereal Chemistry**, St. Paul, v.52, n.3, p.283-297, 1975.
- MORAN, E. T. Impacto da temperatura elevada nos requerimentos de aminoácidos essenciais para frangos de corte e rendimento de carne na carcaça. In: I SIMPÓSIO INTERNACIONAL ACAV—EMBRAPA SOBRE NUTRIÇÃO DE AVES. **Anais...** Concórdia, SC. 1999.
- NATH, J. P.; RAO; M. S. N. Functional Properties of Guar Proteins. **J Food Sci.** v.46, n.4, p. 1255 – 1259, 1981.
- OWUSU-ANSAH, J; VAN DER VOORT, F. R; STANLEY, D. W. Physicochemical changes in corn starch as a function of extrusion variables. **Cereal Chemistry.** v.60, n.4, p.319-324, 1983
- OWUSU-ANSAH, J; VAN DER VOORT, F. R; STANLEY, D. W Textural and microstructural changes in corn starch as a functional of extrusion variables. **Canadian Institute of Food Science and Technology Journal**, Ottawa, v.17, n.2, p.65-70, 1984.
- RAMOS, L.S.N.; LOPES, J.B.; FIGUEIRÊDO, A.V. FREITAS, A.C.; FARIAS, L.A.; SANTOS, L.S.; SILVA, H.O. Polpa de caju em rações para frangos de corte na fase final: desempenho e características de carcaça. **R. Bras. Zootec.**, v.35, n.3, p.804-810, 2006.
- RIBAS, A. I; CÁNOVAS, G. V. B; GARZA, S. G; AÑÓ, V. G. **Métodos Experimentales en la Ingeniería de los Alimentos.** Zaragoza, Ed Acribia, 1ª ed, 2000, 292 p.
- RIBEIRO, A. M. L.; MAGRO, N.; PENZ Jr, A. M. Granulometria do milho em rações de crescimento de frangos de corte e seu efeito no desempenho e metabolismo. **Revista Brasileira de Ciência Avícola.** v.4, n.1, 2002.
- RICE-EVANS, C.; BAYSAL, E. Iron-mediated oxidative stress in erythrocytes. **Biochem J.** v.244, n.6, p.191, 1987.
- RICE-EVANS, C.; BAYSAL, E.; FLYNN, D.; KONTOGHIORGHES, G. Ironmediated free radical effects on erythrocytes: the role of desferrioxamine. **Biochem Soc Trans.** v.14, n. 9, p. 368. 1986.
- ROSA, J. S. Desenvolvimento de um método rápido para análise de vitamina C por cromatografia líquida de alta eficiência utilizando coluna de troca iônica, **Dissertação de mestrado.** Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2005.

SAHIN, K.; SAHIN, N.; ONDERCI, M.; YARALIOGLU, S.; KUCUK, O. Protective role of supplemental vitamin E on lipid peroxidation, vitamins E, A and some mineral concentrations of broilers reared under heat stress. **Vet Med-Czech**. v.46, p.140–144, 2001.

SAHIN, K.; ONDERCI, M.; SAHIN, N., GURSU, M. F.; KUCUK, O. Dietary Vitamin C and Folic Acid Supplementation Ameliorates the Detrimental Effects of Heat Stress in Japanese Quail. **Journal of Nutrition**, v.133, p.1882–1886, 2003.

SERRANA. Produção de Aves em Clima Quentes. Serrana Nutrição animal. Boletim técnico. 78 edição. Junho 2007.

SHAN X.; AW T.Y.; JONES, D.P. Glutathione-dependent protection against oxidative injury. **Pharmacol Ther**. v.47, p.61-71. 1990.

SILVA E. M. M. Produção de Macarrão Pré-Cozido à Base de Farinha Mista de Arroz Integral e Milho para Celíacos Utilizando o Processo de Extrusão. **Dissertação de mestrado**. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007. 118 p.

SILVA, J. H., ALBINO, L. F. T., NASCIMENTO, A. Estimativas da composição anatômica da carcaça de frangos de corte com base no nível de proteína da ração e peso da carcaça. **Revista Brás. de Zoot.** v.32, p.344-352, 2003.

SILVA R. D. M.; MENTEN J. F. M.; CARDOSO M. K.; GHIRARDI G. G. Suplementação de vitamina c associada à densidade de criação no desempenho de frangos de corte. **Sci. Agric. Piracicaba**. v.50, n.3, p.490-497, 1993.

SOUZA, T. C de. Alimentos: propriedades físico-químicas 2ª Ed. Cultura Médica, Rio de Janeiro, 2002. 240p.

SOUZA, R. C. R.; ANDRADE, C. T. Investigação dos Processos de Gelatinização e Extrusão de Amido de Milho. **Polímeros** v.10, n.1 São Carlos Jan./Mar. 2000.

SREBERNICH, S. M. Efeito da umidade, temperatura, velocidade do parafuso e diâmetro da matriz nas características do amido de sorgo submetido à extrusão termoplástica. **Dissertação de mestrado**. Universidade de Campinas, Campinas, 1989. 107 p.

SZENT-GYORGYI, A. The Albert Szent-Gyorgyi Papers Szeged, 1931-1947: **VITAMIN C, MUSCLES, AND WWII**. U.S. National library of Medicine. National Institutes of Health. Department of Health & Human Services USA.gov. Disponível em: <<http://profiles.nlm.nih.gov/WG/Views/Exhibit/narrative/szeged.html>>. Acesso em: 07 jan. 2008.

TD SOFTWARE Universidade Federal de Viçosa. SUPER CRAC Version 4.0 [S.I.]: TD software, 2007. 1 CD-ROM.

TIMOUMI, S.; MIHOUBI, D.; ZAGROUBA, F. Shrinkage, vitamin C degradation and aroma losses during infra-red drying of apple slices. **LWT- Food Science and Technology**. v.40, p.1648–1654, 2007.

TORRES, L. L. G. Desenvolvimento de um processo para produção e extrusão termoplástica de farinha de banana. **Dissertação de mestrado**. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 1991. 128 p.

UNIVERSIDAD FEDERAL DE VIÇOSA. Tabelas brasileiras para aves y suínos. Composição de alimentos e exigências nutricionais. Horacio Santiago Rostagno (Ed.) 2ª edição. Universidade Federal de Viçosa. 2005.

VIOQUE, J.; WEINBRENNER, T.; ASENSIO, L.; CASTELLÓ, A.; YOUNG, I. S.; FLETCHER, A. Plasma concentrations of carotenoids and vitamin C are better correlated with dietary intake in normal weight than overweight and obese elderly subjects. **British Journal of Nutrition**. v.97, p.977–986, 2007.

YUNIANTO, V. D.; HAYASHI, K.; KANEDA, S.; OHTSUKA, A.; TOMITA, Y. Effect of environmental temperature on muscle protein turnover and heat production in tube-fed broiler chickens. **Brit. J. Nutr.**, v.77, p.897-909, 1997.

WAGNER, J. R.; AÑÓN, M. C. Influence of denaturation, hydrophobicity and sulphhydryl content on solubility and water absorbing capacity of soy protein isolates. **J Food Sci**, Chicago, v. 55, n. 3, p. 765-771, 1990.

WILKINSON, R. J. A; SHORT, A. T. Method for making puffable food products from corn and products produce therefrom. **United States Patent Office**, n.4844.937, jul. 4, 1989.

WINTERBOURN, C.C. Oxidative reactions of hemoglobin. **Methods Enzymol**. v.186, n.72, p.264-72, 1990.

ZANOTTO, D. L; GUIDONI, A. L.; PIENIZ, L. C.; Granulometria do milho em rações para engorda de suínos. In: Instrução técnica para o suinocultor, área de comunicação empresarial; (EMBRAPA- CNPSA. Comunicado técnico), 1999c. Disponível em: <<http://www.cnpsa.embrapa.br>>. Acesso em: 07 jan. 2009.

7 GLOSSÁRIO

Bursa de Fabrício: nas aves, é o órgão da hematopoiese.

Extrusabilidade: Qualidade ou característica da extrusão que determinada matéria-prima possui.

Pré-mix: são misturas de micronutrientes (vitaminas, minerais e aminoácidos) em altas concentrações contidos num pó inócuo.

Glutathione: é um antioxidante hidrossolúvel, reconhecido como o tiol não protéico mais importante nos sistemas vivos.

Composto bioactivo: compostos com atividades biológicas

Alimento funcional: é aquele alimento ou ingrediente que, além das funções nutricionais básicas, quando consumido como parte da dieta usual, produz efeitos metabólicos e/ou fisiológicos e/ou efeitos benéficos à saúde.