



UNIVERSIDADE ESTADUAL DO SUDOESTE DA BAHIA - UESB
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE ALIMENTOS

**COMPORTAMENTO MECÂNICO DO QUEIJO DE COALHO
TRADICIONAL, COM CARNE SECA, TOMATE SECO E ORÉGANO
ARMAZENADOS SOB REFRIGERAÇÃO**

WILLIAM SOARES DA SILVA

**ITAPETINGA
BAHIA-BRASIL**

2013

WILLIAM SOARES DA SILVA

**COMPORTAMENTO MECÂNICO DO QUEIJO DE COALHO
TRADICIONAL, COM CARNE SECA, TOMATE SECO E ORÉGANO
ARMAZENADOS SOB REFRIGERAÇÃO**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia – UESB, como parte integrante das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos, área de concentração em Engenharia de Processos de Alimentos, para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Alimentos.

Orientador:

Prof. Dr. Luciano Brito Rodrigues.

Co-Orientadora:

Prof^a. Dra. Renata Cristina Ferreira
Bonomo.

**ITAPETINGA
BAHIA-BRASIL**

2013

<p>637.356 S584c</p>	<p>Silva, William Soares da Comportamento mecânico do queijo de coalho tradicional, com carne seca, tomate seco e orégano armazenados sob refrigeração. / William Soares da Silva. - Itapetinga: UESB, 2013. 59p.</p> <p>Dissertação de mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia – UESB – Campus de Itapetinga. Sob a orientação do Prof. D.Sc. Luciano Brito Rodrigues e co-orientação da Profa. D.Sc. Renata Cristina Ferreira Bonomo.</p> <p>1. Queijo de coalho – Propriedades mecânicas. 2. Queijo de coalho - Modelos viscoelásticos. 3. Queijo de coalho - Perfil de textura. 4. Queijo de Coalho - Produtos lácteos regionais I. Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos. II. Rodrigues, Luciano Brito. III. Bonomo, Renata Cristina Ferreira. IV. Título.</p> <p>CDD(21): 637.356</p>
--------------------------	---

Catálogo na fonte:

Adalice Gustavo da Silva – CRB/5-535

Bibliotecária – UESB – Campus de Itapetinga-BA

Índice Sistemático para Desdobramento por Assunto:

1. Queijo muçarela de búfala – Leite de vaca – Valor nutricional
2. Queijo de leite de búfala - Composição química - Qualidade
3. Queijo muçarela de búfala – Autenticidade
4. Queijo de Coalho - Produtos lácteos regionais



UNIVERSIDADE ESTADUAL DO SUDOESTE DA BAHIA – UESB
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE ALIMENTOS



Área de Concentração: Engenharia de Processos de Alimentos

Campus de Itapetinga-BA

DECLARAÇÃO DE APROVAÇÃO

Título: “COMPORTAMENTO MECÂNICO DO QUEIJO DE COALHO TRADICIONAL, COM CARNE SECA, TOMATE SECO E ORÉGANO ARMAZENADOS SOB REFRIGERAÇÃO.”

Autor: WILLIAM SOARES DA SILVA

Orientador: Prof. Luciano Brito Rodrigues, DSc., UESB

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de MESTRE EM ENGENHARIA DE ALIMENTOS, ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: ENGENHARIA DE PROCESSOS DE ALIMENTOS, pela Banca Examinadora.

Prof. Luciano Brito Rodrigues, DSc., UESB

Prof. Antonio Carlos de Oliveira Ferraz, DSc., UNICAMP

Prof. Matheus Melo Pithon, DSc., UESB

Data da Realização: 22 de Fevereiro de 2013.

*Dedico essa conquista a toda
minha amada família.*

AGRADECIMENTOS

Ao ETERNO que é mentor e mantenedor da existência, e de cujas mãos recebemos o privilegio extraordinário da ciência, pela oportunidade de dar mais um passo nessa surpreendente caminhada da vida.

Aos meus familiares (irmãos, tios, sobrinhos, primos), especialmente aos meus pais, Eva Soares e José Pereira, pelos ensinamentos de vida, pela dignidade, respeito e simplicidade, espelho na formação do meu caráter e pela dedicação sem medida em me incentivar na busca pela materialização dos meus sonhos.

Aos meus amigos que por vez se fizeram “mais chegados que irmãos”, pela motivação e incentivo existencial próprio de cada um de vocês.

De forma muito especial à minha amada esposa Thiara Araújo. O seu amor, dedicação, paciência, carinho e companheirismo demonstrado incessantemente foram decisivos.

À orientação exemplar do professor Dr. Luciano Brito Rodrigues pela dedicação, paciência e todo ensinamento na orientação deste trabalho.

À professora Dra. Renata Bonomo pela co-orientação.

À colaboração preciosa dos professores Dra. Sibelli Passini, Dr. Paulo Bonomo e Dr. Rafael da Costa Ilhéu Fontan.

À Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (UESB) e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos.

À Fundação de Amparo à Pesquisa (FAPESB), pela bolsa concedida.

Aos colegas do Laboratório de Ensaio de Materiais (LABEM), Leo Maia, Hudson Maia Junior, Tainan Carvalho e Milene Rost pela colaboração na realização do experimento e a todos do Grupo de Estudos em Materiais e Meio Ambiente (GEM2A) pela parceria.

Especialmente ao meu amigo Davi Fogaça pela brilhante colaboração nessa caminhada.

Aos colegas do mestrado, em especial, Mariana Caldeira e Ana Carolina pela amizade.

A moçada da república Marcio Santos, Newton Oliveira, Rafael Calixto, Wendel e Tassio Esdras pela hospitalidade e momentos de diversão.

SILVA, William Soares, Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Fevereiro de 2013. **Comportamento mecânico do queijo de coalho tradicional, com carne seca, tomate seco e orégano armazenados sob refrigeração.** Itapetinga, BA: UESB, 2013. 61p. (Dissertação – Mestrado em Engenharia de Alimentos – Engenharia de Processos de Alimentos)

RESUMO

O queijo é um dos primeiros e mais populares produtos alimentícios fabricados no mundo. Entre as variedades existentes destaca-se o queijo de coalho que é típico da região Nordeste do Brasil. Uma opção na elaboração de produtos diferenciados, constitui-se na produção de queijos de coalho adicionados de condimentos, especiarias ou demais agentes de agregação de sabor. No entanto, a inclusão desses elementos na manufatura do queijo de coalho poderá influenciar a sua estrutura, alterando assim suas propriedades mecânicas. O presente trabalho objetivou avaliar o comportamento mecânico, utilizando ensaios da análise do perfil de textura (TPA) instrumental, relaxação e fluência para os queijos de coalho tradicional, condimentado com orégano, adicionado de carne seca e adicionado de tomate seco, em função do tempo de armazenamento de 0,4,8,12,16,20,24 e 28 dias, armazenados sob refrigeração à 10° C. Para cada dia de realização dos ensaios foram utilizadas barras de 1 kg, para cada tipo de queijo, adquiridas no dia da fabricação. Os parâmetros de resposta do TPA avaliados foram dureza, elasticidade, coesividade e mastigabilidade. Para análise dos resultados dos ensaios de relaxação e fluência foram utilizados os modelos viscoelásticos de: Maxwell e Kelvin Generalizado de dois elementos, e o modelo de Peleg. Os queijos apresentaram diferenças significativas quanto aos atributos mecânicos avaliados, sendo que os queijos de coalho tradicional e o condimentado com orégano não diferiram significativamente entre si e apresentaram os maiores valores para dureza, elasticidade, mastigabilidade, e os parâmetros reológicos (E_1 , E_2 , λ_{rel1} , k_1 , k_2 , λ_{rel1}). O queijo adicionado de tomate seco se mostrou o menos coeso, duro (firme), e elástico, apresentando comportamento mais quebradiço (frágil) em relação aos demais. A adição de carne seca ao queijo de coalho também afetou significativamente algumas respostas mecânicas, mas em menor nível. Por outro lado, o orégano quando adicionado ao queijo de coalho tradicional não modificou significativamente suas propriedades mecânicas. De maneira geral todos os queijos estudados mostraram uma tendência de serem menos elásticos e mais macios ao final do armazenamento refrigerado. Os resultados deste trabalho podem servir de referência para estudos futuros relacionados ao comportamento mecânico de queijos nacionais típicos, que é uma área de pesquisa ainda pouco explorada. Eles também podem trazer contribuições para estudos relacionados ao processamento objetivando a padronização deste tipo de queijo, como ocorre com outros alimentos.

Palavras-chave: propriedades mecânicas, modelos viscoelásticos, análise do perfil de textura.

Orientador: Luciano Brito Rodrigues, D.Sc., UESB e Co-orientadora: Renata Cristina Ferreira Bonomo, D.Sc., UESB.

SILVA, William Soares, State University of Southwest Bahia, in February 2013. **Mechanical behavior of standard coalho cheese, dried meat, dried tomatoes and oregano stored under refrigeration.** Itapetinga-BA: UESB, 2013. 61p. (Dissertation - Masters Degree in Food Engineering – Food Process Engineering).

ABSTRACT

Cheese is one of the earliest and most popular food products manufactured in the world. Among its great variety stands out the coalho cheese that is typical of Brazilian northeast region. An option for development of differentiated products, constitutes in the production of coalho cheese added with condiments, spices or other flavor aggregators. However, such inclusion in the coalho cheese formulation may influence its structure, changing its mechanical properties. This study aimed to evaluate the mechanical behavior using the instrumental texture profile analysis (TPA), relaxation and creep tests of standard coalho cheeses, seasoned with oregano, added dried meat and added dried tomato, during the storage time under refrigeration 0,4,8,12,16,20,24 and 28 days. For each day of the tests were used bars of 1 kg for each cheese type, obtained on the day of manufacture. The TPA parameters considered were hardness, elasticity, cohesiveness and chewiness. For the relaxation and creep tests, were used the viscoelastic models of Maxwell and Kelvin Generalized of two elements and Peleg's. The cheeses showed significant differences ($p < 0.10$) for the mechanical attributes. The standard and seasoned with oregano coalho cheeses were those with the highest values for hardness, elasticity, chewiness, and rheological parameters (E_1 , E_2 , λ_{rel1} , k_1 , k_2 , λ_{rel1}). The cheese seasoned with dried tomatoes was the less cohesive, firm and elastic, behaving more brittle than the other. Furthermore, the addition of dried meat to the coalho cheese also significantly affected some mechanical responses, but at lower levels. The added oregano did not contribute to modify the mechanical properties of studied coalho cheese. In general the studied cheeses showed a tendency to be softer and less resilient the end of the refrigerated storage within the study period. The results of this study could serve as reference for future researches following the mechanical behavior of typical domestic cheeses, which is an area research still little explored. They can also bring contributions to the study processing aimed at standardizing this type of cheese, as occurs with other foods.

Keywords: mechanical properties, viscoelastic models, texture profile analysis.

Advisor: Luciano Brito Rodrigues, D.Sc., UESB e Co-Advisor: Renata Cristina Ferreira Bonomo, D.Sc., UESB.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Valores médios das variáveis obtidas na análise do perfil de textura instrumental dos queijos de coalho.....	24
Tabela 2. Modelos matemáticos para a dureza dos queijos de coalho em função do tempo de armazenamento sob refrigeração.....	26
Tabela 3. Modelos matemáticos para a mastigabilidade dos queijos de coalho em função do tempo de armazenamento sob refrigeração.....	28
Tabela 4. Modelos matemáticos para a elasticidade dos queijos de coalho em função do tempo de armazenamento sob refrigeração.....	30
Tabela 5. Modelos matemáticos para a coesividade dos queijos de coalho em função do tempo de armazenamento sob refrigeração.....	32
Tabela 6. Valores dos parâmetros S_0 , S_1 , S_2 , λ_{rel_1} e λ_{rel_2} obtidos através do ajuste dos dados experimentais gerados no ensaio de relaxação ao modelo generalizado de Maxwell com $n=2$	34
Tabela 7. Modelos matemáticos para os parâmetros viscoelásticos obtidos (Modelo de Maxwell) para os queijos de coalho em função do tempo de armazenamento sob refrigeração.....	36
Tabela 8. Valores médios e desvios-padrão do parâmetro k_1 do modelo viscoelástico linear proposto por Peleg (1979).....	41
Tabela 9. Valores médios e desvios-padrão do parâmetro k_2 do modelo viscoelástico linear proposto por Peleg (1979).....	42
Tabela 10. Modelo matemático para o parâmetro viscoelástico $1/k_2$ obtido do Modelo de Peleg (1979) para os queijos de coalho em função do tempo de armazenamento sob refrigeração.....	42
Tabela 11. Valores dos parâmetros obtidos a partir do ajuste dos dados experimentais gerados no ensaio de fluência ao modelo generalizado de Kelvin com $n=2$	44
Tabela 12. Modelos matemáticos para os parâmetros viscoelásticos D_2 e λ_{ret_1} obtidos do modelo generalizado de Kelvin $n=2$ para os queijos de coalho em função do tempo de armazenamento sob refrigeração.....	45

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Modelo de Maxwell.....	08
Figura 2.	Modelo de Kelvin.....	09
Figura 3.	Modelo de Burgers.....	09
Figura 4.	Curva característica de um ensaio de relaxação e representação esquemática em diferentes momentos durante a relaxação.....	11
Figura 5.	Modelo Generalizado de Maxwell.....	12
Figura 6.	Modelo Generalizado de Kelvin-Voigt para Fluência.....	14
Figura 7.	Curva de fluência e recuperação de um material viscoelástico, em resposta à aplicação e remoção da carga (W).....	15
Figura 8.	Curva típica de uma análise do perfil de textura (TPA).....	15
Figura 9.	Diagrama esquemático das duas compressões exigidas para o teste de análise do perfil de textura.....	17
Figura 10.	Esquema da retirada dos corpos de prova dos queijos para os ensaios mecânicos.....	19
Figura 11.	Modelo constituído de dois modelos de Maxwell e um elemento elástico em paralelo.....	21
Figura 12.	Modelo constituído de dois modelos de Kelvin, um elemento elástico e um elemento viscoso, conectados em série.....	22
Figura 13.	Análise do perfil de textura instrumental dos queijos de coalho.....	25
Figura 14.	Variação dos valores médios da dureza durante 28 dias de armazenamento refrigerado.....	27
Figura 15.	Variação dos valores médios da mastigabilidade durante 28 dias de armazenamento refrigerado.....	29
Figura 16.	Variação dos valores médios da elasticidade durante 28 dias de armazenamento refrigerado.....	31
Figura 17.	Variação dos valores médios da coesividade durante 28 dias de armazenamento refrigerado.....	32
Figura 18.	Curvas de relaxação para os queijos de coalho no 4º dia de armazenamento.....	35

Figura 19. Valores do módulo de elasticidade do modelo de Maxwell com o menor tempo de relaxação (E_1) para os queijos de coalho tradicional, condimentado com orégano, adicionado de carne seca e adicionado de tomate seco em função do tempo de armazenamento sob refrigeração.....	37
Figura 20. Valores do módulo de elasticidade do modelo de Maxwell com o maior tempo de relaxação (E_2) para os queijos de coalho tradicional, condimentado com orégano, adicionado de carne seca e adicionado de tomate seco em função do tempo de armazenamento sob refrigeração.....	38
Figura 21. Menor tempo de relaxação (λ_{rel_1}) para os queijos de coalho tradicional, condimentado com orégano, adicionado de carne seca e adicionado de tomate seco em função do tempo de armazenamento sob refrigeração.....	38
Figura 22. Viscosidade do modelo de Maxwell com o menor tempo de relaxação (η_1) para os queijos de coalho tradicional, condimentado com orégano, adicionado de carne seca e adicionado de tomate seco em função do tempo de armazenamento sob refrigeração.....	39
Figura 23. Dados experimentais para um ensaio de relaxação de tensão linearizados segundo Peleg (1979), obtidos para os queijos de coalho (4º Dia).....	40
Figura 24. Variação dos valores médios do parâmetro $1/k_2$ (inverso de k_2) do modelo viscoelástico linear proposto por Peleg (1979) para os queijos de coalho em função do tempo de armazenamento sob refrigeração.....	42
Figura 25. Curvas de fluência e recuperação (creep-recovery) obtidas dos dados experimentais para os queijos de coalho (4º dia).....	43
Figura 26. Compliância retardada (D_2) do modelo de Kelvin para os queijos de coalho em função do tempo de armazenamento refrigerado.....	46
Figura 27. Tempo de retardação λ_{ret} para os queijos de coalho em função do tempo de armazenamento sob refrigeração.....	46

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

F	Força (N)
σ	Tensão normal (Pa)
σ_0	Tensão de equilíbrio (Pa)
e	Índice do elemento elástico
v	Índice do elemento viscoso
τ	Tensão de cisalhamento (Pa)
ε	Deformação específica normal
$\varepsilon_1(t)$	Deformação viscosa
$\varepsilon_2(t)$	Deformação do modelo de Kelvin
$\varepsilon_3(t)$	Deformação elástica
γ	Deformação específica de cisalhamento
E	Módulo de elasticidade (Pa)
E_0	Módulo de equilíbrio do modelo de Maxwell (Pa)
E_1	Módulo de elasticidade do modelo de Maxwell para o elemento 1 (Pa)
E_2	Módulo de elasticidade do modelo de Maxwell para o elemento 2 (Pa)
G	Módulo de rigidez (Pa)
$d\gamma/dt$	Taxa de deformação (mm/s)
η	Coefficiente de viscosidade (Pa.s)
η_1	Coefficiente de viscosidade do modelo generalizado de Maxwell (n=2) para o elemento 1 (Pa.s)
η_2	Coefficiente de viscosidade do modelo generalizado de Maxwell (n=2) para o elemento 2 (Pa.s)
λ_{rel}	Tempo de relaxação (s)
λ_{rel1}	Tempo de relaxação do modelo generalizado de Maxwell (n=2) para o elemento 1 (s)
λ_{rel2}	Tempo de relaxação do modelo generalizado de Maxwell (n=2) para o elemento 2 (s)
t	Tempo (s)
k_1	Constante do modelo de Peleg (s)
k_2	Constante do modelo de Peleg
λ_{ret}	Tempo de retardação (s)
λ_{ret1}	Tempo de retardação do modelo generalizado de Kelvin (n=2) para o elemento 1 (s)
λ_{ret2}	Tempo de retardação do modelo generalizado de Kelvin (n=2) para o elemento 2 (s)
D	Complância (Pa ⁻¹)

- D_0 Compliância instantânea do modelo generalizado de Kelvin (n=2) (Pa^{-1})
- D_1 Compliância do modelo generalizado de Kelvin (n=2) para o elemento1(Pa^{-1})
- D_2 Compliância do modelo generalizado de Kelvin (n=2) para o elemento2(Pa^{-1})
- TPA Análise do perfil de textura.

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	01
2.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	03
2.1	ASPECTOS GERAIS SOBRE O QUEIJO DE COALHO	03
2.2	TEXTURA EM ALIMENTOS	04
2.3	TEXTURA E REOLOGIA DE QUEIJOS	05
2.4	VISCOELASTICIDADE E MODELOS REOLÓGICOS	07
2.4.1	MODELO DE MAXWELL	08
2.4.2	MODELO DE KELVIN	08
2.4.3	MODELO DE BURGERS	09
2.4.4	ENSAIO DE RELAXAÇÃO	10
2.4.5	ENSAIO DE FLUÊNCIA E RECUPERAÇÃO (CREEP-RECOVERY)	13
2.5	ANÁLISE INSTRUMENTAL DO PERFIL DE TEXTURA (TPA)	15
3.	MATERIAL E MÉTODOS	18
3.1	AQUISIÇÃO DOS QUEIJOS	18
3.2	AVALIAÇÃO DA TEXTURA E PROPRIEDADES REOLÓGICAS	18
3.2.1	ANÁLISE INSTRUMENTAL DO PERFIL DE TEXTURA (TPA)	19
3.2.2	ANÁLISES REOLÓGICAS DOS QUEIJOS	20
3.2.2.1	RELAXAÇÃO	20
3.2.2.1.1	FUNÇÃO EXPONENCIAL	20
3.2.2.1.2	LINEARIZAÇÃO DO MODELO EXPONENCIAL	21
3.2.2.2	FLUÊNCIA E RECUPERAÇÃO (CREEP-RECOVERY)	21
3.3	PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL E ANÁLISE ESTATÍSTICA	22
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	23
4.1	ANÁLISE INSTRUMENTAL DO PERFIL DE TEXTURA (TPA)	23
4.1.1	DUREZA	25
4.1.2	MASTIGABILIDADE	27
4.1.3	ELASTICIDADE	29
4.1.4	COESIVIDADE	31
4.2	ANÁLISES REOLÓGICAS	33
4.2.1	RELAXAÇÃO	33
4.2.1.1	FUNÇÃO EXPONENCIAL	33
4.2.1.2	FUNÇÃO LINEAR (Modelo de Peleg)	39

4.2.2	FLUÊNCIA E RECUPERAÇÃO (CREEP-RECOVERY)	43
5.	CONCLUSÕES	48
6.	SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS	49
7.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	50

1. INTRODUÇÃO

O queijo é um dos primeiros e mais populares produtos alimentícios fabricados no mundo. A sua descoberta começou como um acidente de coagulação do leite, e sofreu imensa evolução com o passar dos anos, passando do estado de arte à ciência (GUNASEKARAN & AK, 2003). Os egípcios estão entre os primeiros povos que cuidaram do gado e tiveram no leite e no queijo fonte importante de alimentação, isso há muitos anos antes do nascimento de Cristo (EPAMIG, 1989).

Dentre as diversas variedades existentes na atualidade tem-se o queijo de coalho também chamado de queijo do sertão. Tipicamente originado no sertão nordestino brasileiro a cerca de 150 anos atrás devido à necessidade dos viajantes acondicionarem leite nas mochilas. Em virtude do acondicionamento do leite nesses recipientes observou-se que o mesmo coagulava originando uma massa saborosa. Atualmente o queijo de coalho figura entre as principais iguarias da culinária nordestina. Seu processo de fabricação é baseado na coagulação do leite e na prensagem da massa. Contrariando a sua forma simples de produção, sua utilização é um tanto quanto variada, podendo ser consumido fresco, assado ou como ingrediente em diversos pratos regionais (SEBRAE, 2008).

A produção artesanal de queijo de coalho é de grande importância para o Nordeste brasileiro por se tratar de um produto de elevada aceitação, além de representar uma fonte de renda e geração de trabalho para pequenos e médios produtores rurais (PIRES et al., 1994; SEBRAE, 1998).

É necessária a padronização do processo produtivo do queijo de coalho para melhorar sua qualidade, tanto higiênico-sanitária como sensorial. Atribuir-lhe um padrão de identidade pode facilitar sua inserção em novos mercados, levando ao aumento da produção e, conseqüentemente, maior geração de emprego e renda, garantindo ao consumidor produtos seguros e de qualidade.

As características específicas e critérios de elaboração do queijo de coalho já se encontram estabelecidas no Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade de Queijo de Coalho, publicado na Instrução Normativa nº 30 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (BRASIL, 2001).

Uma opção na elaboração de queijo de coalho diferenciado são queijos adicionados de condimentos, especiarias ou demais agentes de agregação de sabor, tais como: alho, pimenta, orégano, manjericão, tomate seco, carne seca e outros (QUEIROGA et al., 2009). Essa alternativa contribui para a melhoria do sabor, aroma, além da inserção de inúmeras propriedades antioxidantes relativas às especiarias, agregando maior valor tanto comercial

quanto nutricional ao produto. A demanda por esse tipo de queijo é cada vez maior tendo em vista a cultura culinária da Região Nordeste. Porém, a inclusão de condimentos diversos no queijo de coalho poderá influenciar a sua estrutura, conseqüentemente suas propriedades mecânicas, resultando na possibilidade de alterações texturais.

Para se avaliar a qualidade atribuída ao produto através de variações no seu processo produtivo pode-se fazer uso da análise instrumental do perfil de textura (TPA), de ensaios de relaxação e fluência. Através destes é possível obter dados quantitativos, exatos e repetíveis das propriedades físicas dos alimentos (BOURNE, 2002; GUNASEKARAN & AK, 2003).

É importante salientar que, embora existam inúmeros estudos sobre textura instrumental de queijo, uma parcela pouco significativa se ocupa em pesquisar queijos típicos do Nordeste. Diante disso, o presente trabalho objetivou estudar o comportamento mecânico/reológico do queijo de coalho, avaliando o efeito da adição em sua formulação de carne seca, tomate seco e orégano em função do tempo de armazenamento refrigerado, em diferentes períodos de tempo.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 ASPECTOS GERAIS SOBRE O QUEIJO DE COALHO

Segundo o Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade de Queijo de Coalho, presente na Instrução Normativa nº 30 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, o queijo de coalho é o produto obtido através da coagulação do leite por meio do coalho ou outras enzimas coagulantes apropriadas, complementada ou não pela ação de outras bactérias lácteas selecionadas e comercializado com até dez dias de fabricação (BRASIL, 2001).

O queijo de coalho é um dos queijos de maior expressão no Brasil, amplamente produzido industrial e artesanalmente. Apesar de sua importância econômica e popularidade, a fabricação deste produto não conta ainda com tecnologias de manufatura apropriadas, sendo a diversificação das metodologias empregadas constatada na produção de vários fabricantes. A fabricação artesanal geralmente emprega leite cru, conferindo ao queijo características únicas que são percebidas pelo consumidor. Industrialmente o leite utilizado é pasteurizado, além disso, há adição de culturas lácteas, o que pode modificar consideravelmente as características sensoriais do produto (ANDRADE, 2007).

A grande maioria dos queijos de coalho elaborados no Nordeste é proveniente da fabricação artesanal, a partir de leite integral cru, em pequenas queijarias urbanas ou rurais e sua produção não consta em estatísticas oficiais (CAVALCANTE et al., 2004).

Apesar de o Regulamento (BRASIL, 2001) estabelecer o tempo de vida útil do produto em 10 dias, fica a critério de cada produtor definir um prazo de validade, garantindo nesse período a integridade microbiológica e sensorial do produto. No caso do queijo produzido industrialmente esse prazo não é inferior a 30 dias, e é nesse intervalo que acontecem todas as reações características que contribuem para a alteração da textura e sabor do produto.

Ainda segundo o Regulamento Técnico de identidade e qualidade do queijo de coalho (BRASIL, 2001), as características distintivas do processo de elaboração são: a coagulação em torno de 40 minutos, o corte e mexedura da massa, a remoção parcial do soro, aquecimento da massa com água quente ou vapor indireto até obtenção de massa semicozida (até 45° C) ou cozida, (45 e 55)° C, adição de sal (cloreto de sódio) à massa, se for o caso, prensagem, secagem, embalagem e estocagem em temperatura média (10 e 12)°C, normalmente até 10 dias. O queijo de coalho poderá ser também elaborado a partir de massa crua, sem aquecimento.

A consistência, o sabor e o odor dos queijos são, de forma geral, influenciados pelo fermento láctico adicionado após a pasteurização do leite e pelos microrganismos que existem normalmente no leite ordenhado. De acordo com a portaria 146/96 do Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), o queijo coalho, por sua umidade relativamente alta e período curto de maturação, deve ser elaborado com leite pasteurizado (BRASIL, 1996). Tal regulamentação, muitas vezes, não é seguida em algumas queijarias artesanais do Nordeste, promovendo diferenças acentuadas no sabor e nas características microbiológicas dos queijos (QUEIROGA et al., 2009), além de representar risco à saúde dos consumidores através de microrganismos patogênicos eventualmente presentes no leite.

O queijo de coalho deve apresentar consistência elástica, textura compacta ou aberta com olhaduras mecânicas, cor branca amarelada uniforme, sabor brando, ligeiramente ácido e salgado, odor ligeiramente ácido de coalhada fresca, casca fina e não muito bem definida, formato e peso variáveis. O leite deve ser integral ou padronizado e obrigatoriamente pasteurizado (BRASIL, 2001).

Além do mais, é um queijo de média a alta umidade, de massa semicozida ou cozida e apresentando um teor de gordura nos sólidos totais variável entre 35,0% e 60,0%. Pode ser adicionado de condimento, devendo este ser citado na denominação do produto. Quando houver a adição de mais de um condimento pode ser utilizado apenas a denominação “condimentado” após a denominação de “queijo de coalho”. Além disso, dentre as características desejáveis pelos consumidores do queijo de coalho estão o sabor, a textura firme, a aparência, o aroma e a capacidade de derretimento. Assim, no caso dos queijos adicionados de condimentos, espera-se que o produto mantenha seus atributos desejáveis, de modo que não venha a ser rejeitado pelos consumidores (FOGAÇA et al., 2012).

Nesse sentido as características de textura ganham notabilidade, principalmente por se tratarem de algo que o consumidor normalmente avalia a primeira vista juntamente com a cor e o aroma, antes das demais características (SANTOS JÚNIOR et al., 2012).

2.2 TEXTURA EM ALIMENTOS

Textura é a manifestação sensorial e funcional das propriedades estruturais, mecânicas e superficiais dos alimentos, detectadas pelos sentidos da visão, audição, tato e sinestésicas (SZCZESNIAK, 2002). As propriedades de textura estão intimamente relacionadas à deformação, desintegração e ao escoamento do alimento, sob a aplicação de uma força. São objetivamente medidas pelas funções: tempo, força, massa e distância (GEISE, 1995).

A importância da textura na aceitabilidade global de alimentos varia largamente dependendo do tipo de alimento avaliado, podendo ser considerada um fator crítico, importante ou de menor relevância na qualidade global do alimento avaliado (BOURNE, 2002).

A textura pode ser avaliada por métodos sensoriais usando provadores treinados. Entretanto, em trabalho de rotina, os métodos sensoriais não são os mais vantajosos, existindo outros métodos para obtenção mais rápida de indicadores da textura dos alimentos (SANTOS JÚNIOR et al., 2012).

Muitos destes métodos são instrumentais e as respostas destes são válidas, pois geralmente se correlacionam com os dados de avaliação sensorial. A textura é um atributo importante do alimento e é utilizada como um indicador para a identificação e a qualidade influenciando na preferência dos consumidores (CHUNG & MEULLENET, 2001).

Quanto ao queijo, a textura é geralmente limitada às sensações experimentadas durante o mastigar, sugerindo o papel preponderante das propriedades mecânicas. No entanto, além da força e deformação, que ocorrem em parte da mastigação, outros processos, tais como a manipulação da massa através da mistura com a língua e também, com a saliva ocorre e resulta em percepções sensoriais únicas de textura, que mesmo sendo difícil é possível medir instrumentalmente (FOEGEDING & DRAKE, 2007).

2.3 TEXTURA E REOLOGIA DE QUEIJOS

A força aplicada por unidade de área de um material sólido é chamada de tensão (σ ou τ). Se a atuação da força for perpendicular à superfície, a tensão é dita normal (σ). A deformação resultante é definida como deformação específica normal (ε) e, dentro do limite elástico do material, relaciona-se diretamente o módulo de elasticidade ou módulo de Young (E) (Equação 1).

$$E = \sigma/\varepsilon \quad (1)$$

Por outro lado se a força atua paralelamente à superfície do material, é chamada de tensão de cisalhamento (τ) e a deformação resultante é designada deformação de cisalhamento (γ), que está relacionada com o módulo de rigidez (G) (Equação 2).

$$G = \tau/\gamma \quad (2)$$

No caso do material ser perfeitamente elástico, a magnitude da deformação é proporcional à magnitude da força aplicada, independente do tempo, ou seja, os módulos E e G são constantes. A curva tensão-deformação é sempre linear. Um material idealmente elástico deforma-se sob a aplicação de uma força e depois retorna à posição inicial quando a força é removida (RAO, 1992).

Para um fluido viscoso ideal (Newtoniano), a tensão de cisalhamento (τ) é proporcional à taxa de deformação ($d\gamma/dt$). A constante de proporcionalidade é conhecida como coeficiente de viscosidade (η) (Equação 3) e é definida como:

$$\eta = \tau / (d\gamma/dt) \quad (3)$$

Entretanto, do ponto de vista físico, o queijo é denominado um alimento viscoelástico, pois durante uma deformação, parte da energia mecânica fornecida para a ele é armazenada (parte elástica) e parte é dissipada (parte viscosa) (LUCY et al., 2003). A viscoelasticidade dos queijos resulta da contribuição individual e da interação entre seus constituintes – proteína, gordura, minerais, e água (FOX et al., 2000).

Reologia é o ramo da física que estuda a deformação e o escoamento de materiais sólidos e fluidos, em resposta a ação de uma força. A deformação diz respeito aos materiais sólidos, como é o caso dos queijos semiduros, e o escoamento se refere aos materiais líquidos, como é o caso do requeijão cremoso (ANJO, 2000).

A avaliação reológica dos produtos alimentícios pelos métodos instrumentais, como viscosímetros e texturômetros, resulta em informação de grande importância em cálculos de engenharia de processos, englobando uma grande quantidade de equipamentos tais como agitadores, extrusoras, bombas, trocadores de calor, tubulações ou homogeneizadores, determinação da funcionalidade de ingredientes no desenvolvimento de produtos, controle de qualidade do produto final ou intermediário, determinação de vida de prateleira e avaliação da textura pela correlação com dados sensoriais (ANJO, 2000).

De acordo com Shoemaker et al. (1992), a avaliação das propriedades reológicas dos queijos é tão importante quanto à avaliação do sabor e aroma. Além disso, as propriedades reológicas dos queijos são função de sua composição, microestrutura (arranjo estrutural de seus componentes), do estado físico-químico e das interações de seus componentes e de sua macroestrutura (presença de olhaduras, fissuras, etc.). A variação nestes parâmetros pode promover alterações significativas no comportamento reológico do queijo (FOX et al., 2000).

O conhecimento dessas propriedades tem grande importância em projetos e previsão da estabilidade de amostras armazenadas (STEFEE, 1996), visto que o tempo desempenha uma importante influência sobre o comportamento mecânico, reológico e sensorial do alimento.

2.4 VISCOELASTICIDADE E MODELOS REOLÓGICOS

A maioria dos alimentos apresenta características tanto de sólido elástico como de líquido viscoso, podendo assim ser explicado por teorias de elasticidade e viscoelasticidade (CUNHA, 2002).

Os materiais viscoelásticos são caracterizados pela observância de um comportamento intermediário entre o sólido elástico e o fluido newtoniano. Dozdrov (1996) afirma que para um material ser considerado viscoelástico, é necessário que o mesmo experimente o fenômeno de fluência ou de relaxação.

As propriedades reológicas de um material viscoelástico (módulo de elasticidade, módulo de rigidez, etc.) são função do tempo de aplicação da tensão ou da deformação. As ligações entre os elementos estruturais do alimento irão ocasionalmente se quebrar ou reorganizar, o que explica a dependência do tempo no comportamento reológico do produto (LUCEY et al., 2003). Um material viscoelástico pode responder linear ou não linearmente (RAO, 1992).

A resposta viscoelástica linear ocorre quando as propriedades reológicas são dependentes apenas do tempo, não da magnitude ou valor da sollicitação mecânica aplicada ao material (BOURNE, 2002). Nesse caso haverá uma relação linear entre a tensão e a deformação (RAO, 1992). Alguns materiais apresentam comportamento viscoelástico linear apenas até certo limite de deformação (em geral muito pequeno). Isso ocorre, porque quando a deformação é pequena, ou é aplicada de forma suficientemente lenta, os arranjos moleculares estão muito próximos ao equilíbrio. Nesse caso, a resposta mecânica é apenas uma reflexão dos processos dinâmicos ao nível molecular que mudam constantemente, e que ocorrem mesmo quando o sistema está em equilíbrio (CUNHA, 2002).

A resposta viscoelástica não linear ocorre quando as propriedades mecânicas variam não apenas com tempo, mas também com a magnitude da tensão aplicada. Esse tipo de material pode não apresentar nenhuma zona elástica, e em geral é representado por relações não lineares entre a tensão e a deformação (RAO, 1992).

Para representar os efeitos viscosos e elásticos presentes nos materiais viscoelásticos diversos modelos físico-matemáticos são encontrados na literatura e geralmente são

constituídos por diferentes arranjos geométricos de molas (representando a parcela elástica) e amortecedores (representando a parcela viscosa) (SANTOS, 2008).

2.4.1 MODELO DE MAXWELL

O modelo de Maxwell é constituído pela associação de um elemento elástico ideal ligado em série a um elemento viscoso (Figura 1). Esse modelo foi proposto inicialmente por James Clerk Maxwell, em analogia aos modelos elétricos (SANTOS, 2008).

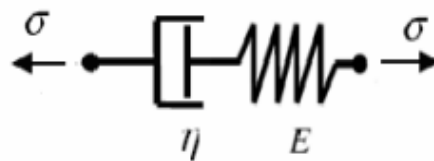


Figura 1 – Modelo de Maxwell

Fonte: SANTOS, 2008.

Aplicando-se uma tensão σ nas extremidades do elemento viscoelástico representado na Figura 1, observa-se que a deformação total corresponde à soma das deformações elástica e viscosa (Equação 4), representadas pelos índices e e v respectivamente. Por outro lado, a tensão é a mesma no elemento elástico e viscoso (Equação 5).

$$\varepsilon(t) = \varepsilon(t)^e + \varepsilon(t)^v \quad (4)$$

$$\sigma(t) = \sigma(t)^e = \sigma(t)^v \quad (5)$$

As relações constitutivas dos elementos elástico e viscoso assumem a seguinte forma:

$$\sigma(t)^e = E \cdot \varepsilon(t)^e \quad (6)$$

$$\sigma(t)^v = \eta \cdot \dot{\varepsilon}(t)^v \quad (7)$$

Combinando as equações (6) e (7) chega-se a uma equação diferencial para o modelo de Maxwell (Equação 8).

$$\dot{\varepsilon}(t) = \dot{\varepsilon}(t)^e + \dot{\varepsilon}(t)^v = \dot{\varepsilon}(t) = \frac{\dot{\sigma}(t)}{E} + \frac{\sigma(t)}{\eta} \quad (8)$$

2.4.2 MODELO DE KELVIN

De acordo com o modelo reológico proposto por Lord Kelvin, o efeito da viscoelasticidade pode ser representado pela combinação de um elemento viscoso e um elástico, ligados em paralelo, conforme Figura 2 (SANTOS, 2008).

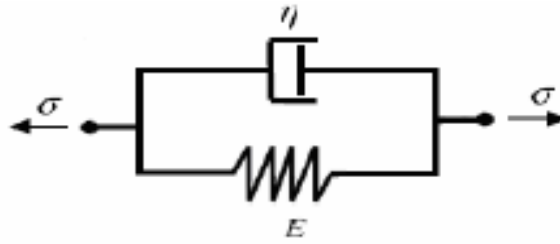


Figura 2 – Modelo de Kelvin

Fonte: SANTOS, 2008

A aplicação de uma tensão σ nas extremidades do modelo de Kelvin provocará uma distribuição de tensões no elemento elástico e viscoso, de forma que o valor da tensão total atuante no elemento será a soma das tensões de cada parcela (Equação 9). Por outro lado, como os elementos estão interconectados em suas extremidades, as deformações sofridas serão de igual valor (Equação 10), onde e representa o elemento elástico e v representa o elemento viscoso (SANTOS, 2008).

$$\sigma(t) = \sigma(t)^e + \sigma(t)^v \quad (9)$$

$$\varepsilon(t) = \varepsilon(t)^e = \varepsilon(t)^v \quad (10)$$

Combinando as equações (9) e (10) às relações constitutivas elásticas e viscosas, equação (6) e equação (7), obtém-se a equação diferencial do modelo de Kelvin, apresentada a seguir:

$$\sigma(t) = \sigma(t)^e + \sigma(t)^v = \varepsilon(t) + \frac{E(t)}{\eta} \varepsilon(t) = \frac{\sigma(t)}{\eta} \quad (11)$$

2.4.3 MODELO DE BURGERS

O modelo proposto por Burger consiste na ligação em série de um modelo de Kelvin associado a um elemento viscoso e outro elástico (Figura 3).

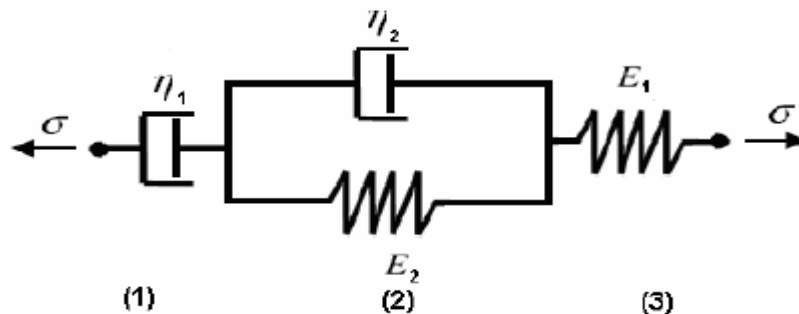


Figura 3 – Modelo de Burgers

Fonte: SANTOS, 2008.

Delimitando 3 zonas de deformação, em que a zona (1) corresponde à parcela viscosa, a zona (2) ao elemento de Kelvin e a zona (3) à parcela elástica, pode-se afirmar que a deformação total no corpo é dada por:

$$\varepsilon(t) = \varepsilon_1(t) + \varepsilon_2(t) + \varepsilon_3(t) \quad (12)$$

Redefinindo a expressão (12) em termos de taxa de deformação, e combinando com as expressões (6), (7) e (11), chega-se a equação diferencial para o modelo de Burgers apresentada na equação (13).

$$\ddot{\sigma} + \left(\frac{E_1}{\eta_2} + \frac{E_2}{\eta_2} + \frac{E_1}{\eta_1} \right) \dot{\sigma} + \frac{E_2 E_1}{\eta_2 \eta_1} \sigma = E_1 \ddot{\varepsilon} + \frac{E_2 E_1}{\eta_2} \dot{\varepsilon} \quad (13)$$

O modelo de Burgers tem sido um dos modelos reológicos mais utilizados na descrição do comportamento viscoelástico de vários materiais (RAO, 1992; STEFFE, 1996).

2.4.4 ENSAIO DE RELAXAÇÃO

Existem, em reologia, dois ensaios básicos para medir o comportamento viscoelástico de materiais: relaxação (relaxation) e fluência (creep).

Embora, a princípio o ensaio de relaxação possa ser feito em qualquer configuração (tração, compressão, cisalhamento, torção, flexão, etc.) o mais comum em estudos de queijo é a compressão. Quando uma deformação instantânea constante é aplicada a um material viscoelástico em condição isotérmica, a tensão necessária para manter essa deformação não é constante, mas diminui com o tempo (GUNASEKARAN & AK, 2003). As curvas de relaxação podem ser utilizadas para calcular o módulo de elasticidade em função do tempo.

Para um material, representado pelo modelo de Maxwell submetido ao ensaio de relaxação, através da aplicação de uma deformação constante, fazendo análise individual de cada elemento do modelo, e após algumas operações matemáticas temos que:

$$\sigma(t) = \sigma_0 \cdot e^{-t/(\lambda_{rel})} \quad (14)$$

Onde $\sigma(t)$ é a tensão aplicada com um todo em qualquer tempo t , σ_0 é a tensão inicial após a aplicação da carga, e o termo λ_{rel} é definido como o tempo de relaxação do modelo e é equivalente a (η/E) . Além disso, é possível expressar essa função, em termos do módulo de elasticidade (dividindo todos os termos da equação 14 pela deformação específica normal (ε)).

$$E(t) = E_0 e^{-t/(\lambda_{rel})} \quad (15)$$

Onde $E(t)$ é o módulo de elasticidade do corpo como um todo em qualquer tempo t , E_0 é o módulo de elasticidade do elemento elástico.

Em uma curva de relaxação típica ocorre uma queda exponencial da tensão até um valor constante, diferente de zero. No caso de alimentos é importante que a deformação aplicada seja pequena para minimizar a ocorrência de alterações estruturais no material (CUNHA, 2002).

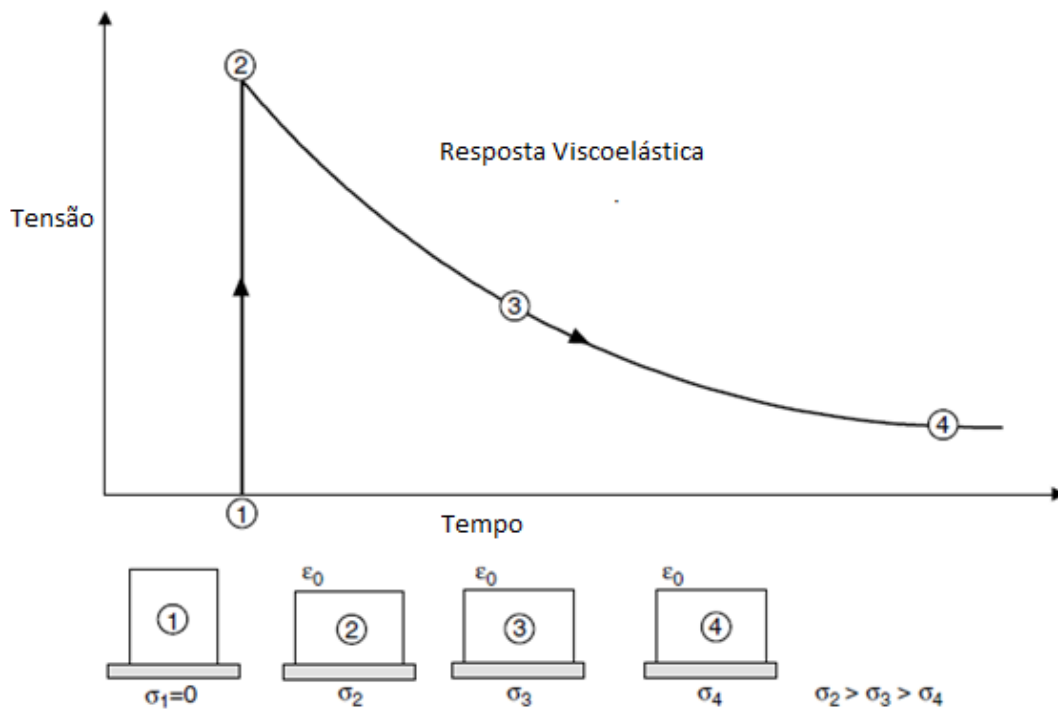


Figura 4 – Curva ideal de um ensaio de relaxação, e representação esquemática em diferentes momentos durante a relaxação.

Fonte: Adaptado de GUNASEKARAN & AK, (2003).

No entanto, o modelo mais adequado para a quantificação do comportamento de relaxamento de alimentos e de uma variedade de materiais poliméricos é, tradicionalmente, o modelo generalizado de Maxwell (Figura4) com um número discreto de elementos (STEFEE, 1996):

$$\frac{\sigma(t)}{\varepsilon_0} = E(t) = E_0 + \sum_{i=1}^n E_i \left[\exp \left(-\frac{t}{\lambda_{(rel)i}} \right) \right] \quad (16)$$

Onde, E_0 é o módulo de elasticidade da mola que está sozinha ($\lambda=\infty$), como elemento do corpo de Maxwell na Figura 3, t o tempo, E_i o módulo de cada elemento de Maxwell, e $\lambda_{(rel)i}$ o tempo de relaxação de cada elemento de Maxwell.

Para materiais que são representados por esse modelo, o ajuste à curva experimental é tanto melhor quanto maior o número de elementos de Maxwell adicionados (RAO, 1992). No entanto, isso tornaria o modelo muito complexo, o que comprometeria sua aplicabilidade, além de dificultar a análise das constantes (PRENTICE et al., 1993). Em geral apenas dois modelos de Maxwell em paralelo com um elemento elástico residual são suficientes para representar o comportamento mecânico (RAO, 1992).

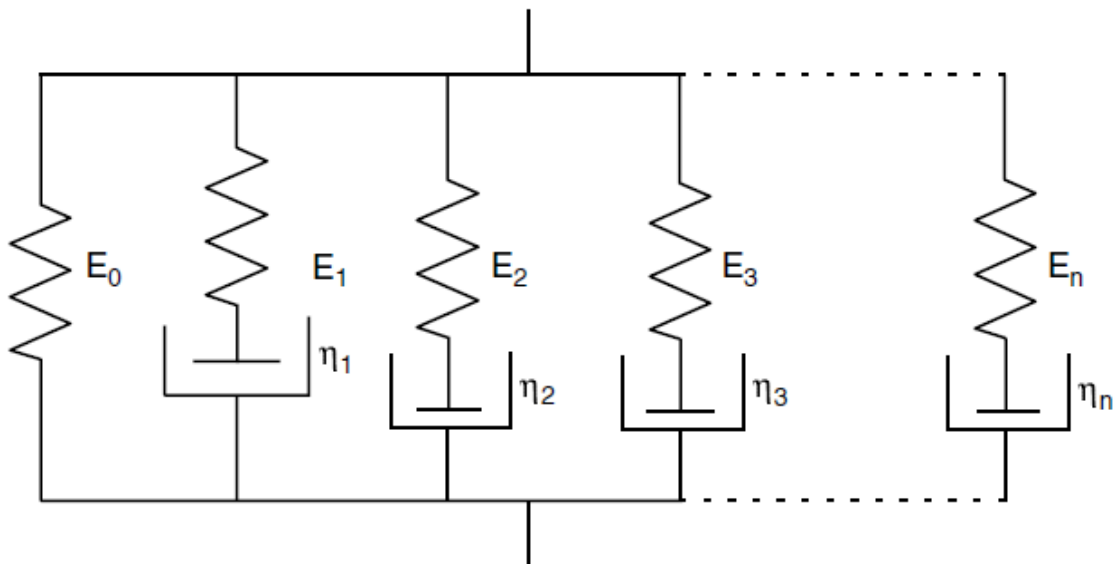


Figura 5 - Modelo Generalizado de Maxwell

Fonte: GUNASEKARAN & AK, (2003).

Entretanto, ressalta-se que existem dois grandes problemas na aplicação do ensaio de relaxação para alimentos. O primeiro aparece quando o material é submetido a grandes deformações, pois geralmente não irá apresentar comportamento viscoelástico linear. Outro é oriundo da instabilidade natural e atividade biológica dos alimentos, tornando assim difícil a determinação de parâmetros de equilíbrio mecânico. Assim, para superar essas dificuldades, um modelo alternativo foi proposto, onde a relaxação da tensão é normalizada (sendo possível também normalizar a força) e, portanto dando origem a seguinte equação linear (STEFFE, 1996).

$$\frac{t}{Y(t)} = k_1 + k_2 t \quad (17)$$

$$Y(t) = \frac{\sigma_0 - \sigma(t)}{\sigma_0} \quad (18)$$

Onde, σ_0 é a tensão inicial e $\sigma(t)$ a tensão que decresce em função do tempo. Esta linearização permite a obtenção de um modelo simples em que o parâmetro k_2 é a inclinação

da reta e k_1 o intercepto dos eixos $t/Y(t)$ vs t . Peleg (1980) afirmou ainda que $1/k_2$ representa o valor assintótico ao qual a tensão se reduz durante a relaxação, ou seja, da curva $Y(t)$ quando $t \rightarrow \infty$. Quando $1/k_2 = 0$, não há queda na tensão (como ocorre em sólidos elásticos ideais) e, quando $1/k_2 = 1$, a tensão final chega à zero (como ocorre em líquidos). Enquanto isso, o parâmetro $1/k_1$ representa a taxa de decaimento inicial da tensão.

Essa simplificação é muito utilizada objetivando descrever o comportamento reológico de uma série de produtos alimentícios, entre esses, queijo minas frescal (CUNHA, 2002), salsichas (ANDRÁS et al., 2008), espaguete (SOZER et al., 2008) e uvas passas (LEWICKI & SPIESS 1994).

2.4.5 ENSAIO DE FLUÊNCIA E RECUPERAÇÃO (CREEP-RECOVERY)

A fluência, também conhecida na literatura por sua terminologia inglesa (*creep*), está relacionada à tendência das partículas constituintes dos materiais sofrerem movimentos consequentes da aplicação continuada de carga de intensidade constante (SANTOS, 2008).

Tal como acontece na relaxação, um ensaio de fluência pode ser realizado em diferentes configurações (tração, compressão, cisalhamento, torção, etc.). No entanto, o mais comum em estudos de queijo é a compressão. Em um ensaio de fluência isotérmico, uma tensão constante é aplicada ao material, e a deformação resultante é registrada em função do tempo (GUNASEKARAN & AK, 2003).

Para materiais lineares, a compliância (o inverso do módulo de elasticidade) em função do tempo, $D(t)$, é dada por:

$$D(t) = \frac{\varepsilon(t)}{\sigma_0} \quad (19)$$

Onde $\varepsilon(t)$ é a deformação específica de tração ou de compressão. O símbolo $J(t)$ é usado para representar a compliância de cisalhamento, isto é, $J(t) = \gamma(t)/\tau_0$, onde $\gamma(t)$ é a deformação específica de cisalhamento, e τ_0 é a tensão de cisalhamento aplicada.

Para um material, representado pelo modelo de Kelvin, submetido a uma tensão constante, ocorre deformação a uma taxa proporcional ao coeficiente de viscosidade do elemento viscoso combinado com o módulo de elasticidade do elemento elástico. O material continua escoar até que a deformação seja inibida e interrompida devido à total extensão do elemento elástico. Assim, o modelo matemático que elucida o comportamento do material é:

$$D(t) = D_1 \left(1 - e^{-\frac{t}{\lambda_{ret}}}\right) \quad (20)$$

Onde $D(t)$ é a compliância do corpo para todo t (tempo), D_I é a compliância do elemento elástico (ou o inverso do módulo de elasticidade para o elemento elástico correspondente ao ponto onde a deformação é máxima) e λ_{ret} é o tempo de retardação (η/E_I) (STEFFE, 1996).

No entanto, o modelo de Kelvin não é suficientemente eficaz para representar o comportamento na fluência para muitos materiais biológicos. Assim, outro modelo para representar o comportamento de fluência de alimentos e de uma variedade de materiais biológicos e poliméricos é necessário, e nesse caso é comumente utilizado o modelo generalizado de Kelvin-Voigt (Figura 6) com um número finito de elementos.

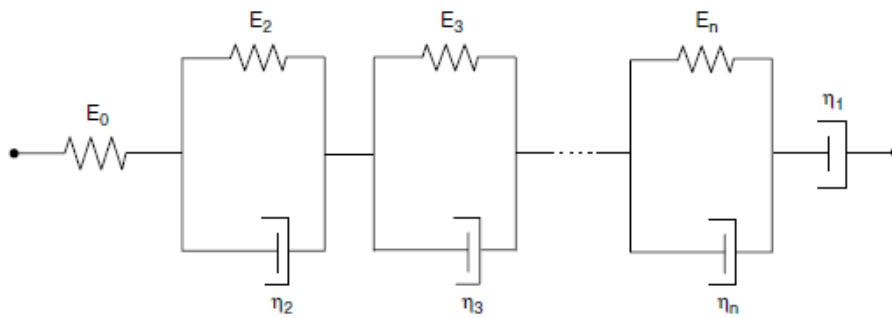


Figura 6 – Modelo Generalizado de Kelvin-Voigt para fluência.

Fonte: GUNASEKARAN & AK, (2003).

$$\frac{\varepsilon(t)}{\sigma_0} = D(t) = D_0 + \sum_{i=2}^n D_i \left[1 - \exp\left(-\frac{t}{(\lambda_{ret})_i}\right) \right] + \frac{t}{\eta} \quad (21)$$

Onde, D_0 é a compliância instantânea ($= 1/E_0$), t o tempo, η é o coeficiente de viscosidade newtoniana enquanto $1/\eta$ é a inclinação da porção linear da curva de deformação após um período de tempo suficientemente longo, D_i é a compliância retardada de cada elemento de Kelvin-Voigt ($=1/E_i$), e $(\lambda_{ret})_i$ é o tempo de retardação para cada elemento do modelo de Kelvin-Voigt (GUNASEKARAN & AK, 2003). A compliância é dita elástica (D_0) quando a recuperação da deformação devida à aplicação de uma força é completamente instantânea e, a compliância é dita elástica retardada (D_I) quando a recuperação do componente elástico não é instantânea após a remoção da força aplicada (FOX et al., 2000; FOX et al., 2004). A viscosidade newtoniana (η) pode ser considerada como uma medida da maciez dos queijos (CUNHA, 2002).

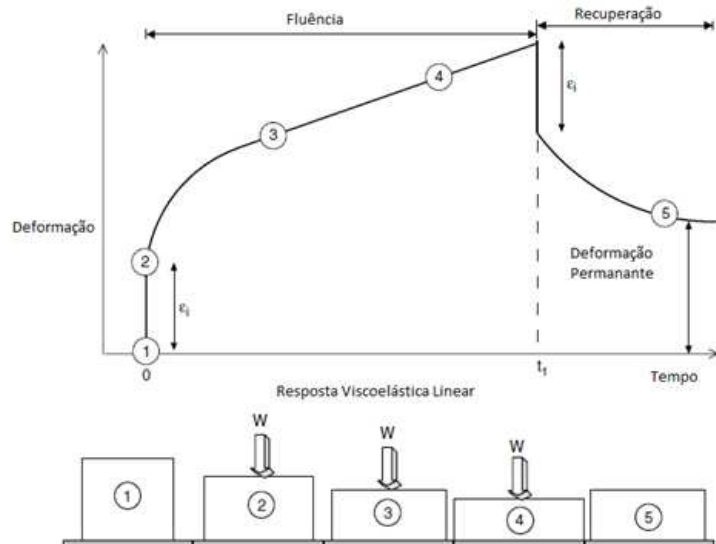


Figura 7 – Curva de Fluência e Recuperação de um material viscoelástico, e a aplicação e remoção da carga (W) para um ensaio de fluência para um material viscoelástico.

Fonte: Adaptado de GUNASEKARAN & AK, (2003).

2.5 ANÁLISE INSTRUMENTAL DO PERFIL DE TEXTURA (TPA)

Dentre os métodos de avaliação da textura instrumental merece destaque a Análise Instrumental do Perfil de Textura (TPA), que é aplicado com eficiência em muitas análises de alimentos (PONS & FISZMAN, 1996). O teste simula a ação de compressão e corte dos dentes durante a mastigação, consistindo em aplicações sucessivas de forças (deformantes) ao corpo de prova, e a partir disso é possível gerar uma curva força x tempo (Figura 8), onde são extraídos os parâmetros texturais. Esses parâmetros correlacionam-se bem com a avaliação sensorial (BOURNE, 2002).

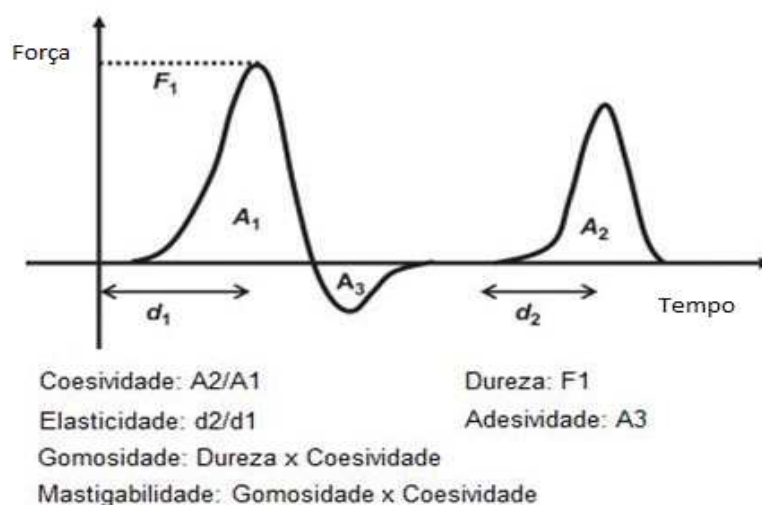


Figura 8 – Curva típica de uma análise instrumental do perfil de textura (TPA).

Através da curva resultante, os seguintes parâmetros podem ser determinados (GUNASEKARAN&AK, 2003):

Dureza TPA (*TPA hardness*): é a força necessária para atingir uma dada deformação.

Fraturabilidade TPA (*TPA Fracturability*): é a força na ruptura observada no primeiro ciclo da compressão (originalmente conhecido como "brittleness")

Coesividade TPA (*TPA cohesiveness*): resistência das ligações internas que compõem o corpo do produto.

Elasticidade TPA (*TPA springiness*): grau em que a amostra retorna à sua forma original após compressão.

Adesividade TPA (*TPA adhesiveness*): é a quantidade de força requerida para simular o trabalho necessário que sobreponha as forças de atração entre a superfície do alimento e a superfície em contato com este.

Mastigabilidade TPA (*TPA chewiness*): é a energia requerida para desintegrar um alimento sólido até o ponto de ser engolido.

Gomosidade TPA (*TPA gumminess*): é a energia requerida para se desintegrar um alimento semissólido a ponto de ser engolido.

O princípio do teste TPA está ilustrado na Figura 9: o corpo de prova de tamanho padrão é colocado na placa de base fixa de um equipamento e na sequência comprimido e aliviado duas vezes por um prato plano móvel paralelo ligado ao sistema de acionamento. É importante observar que, se o objetivo principal do ensaio for o de imitar a ação de mastigação dos dentes deve haver uma elevada compressão, em torno de 70% a 90% (BOURNE, 2002), pois assim irá garantir a ruptura do corpo de prova (fratura). No entanto, a deformação na ruptura de queijos é da ordem de 25% a 60%, sendo de 25% a 35% para o queijo Feta (WIUM et al., 1997) e de 50% a 60% para o queijo Cheddar (AK&GUNASEKARAN, 1992)

Assim, outros níveis de compressões podem ser utilizados quando, por exemplo, se deseja estudar o material imediatamente antes da fratura, ou obviamente no caso de materiais frágeis onde a ruptura irá ocorrer em baixos níveis de compressão, ficando a critério de quem irá realizar o teste a definição através de ensaios preliminares.

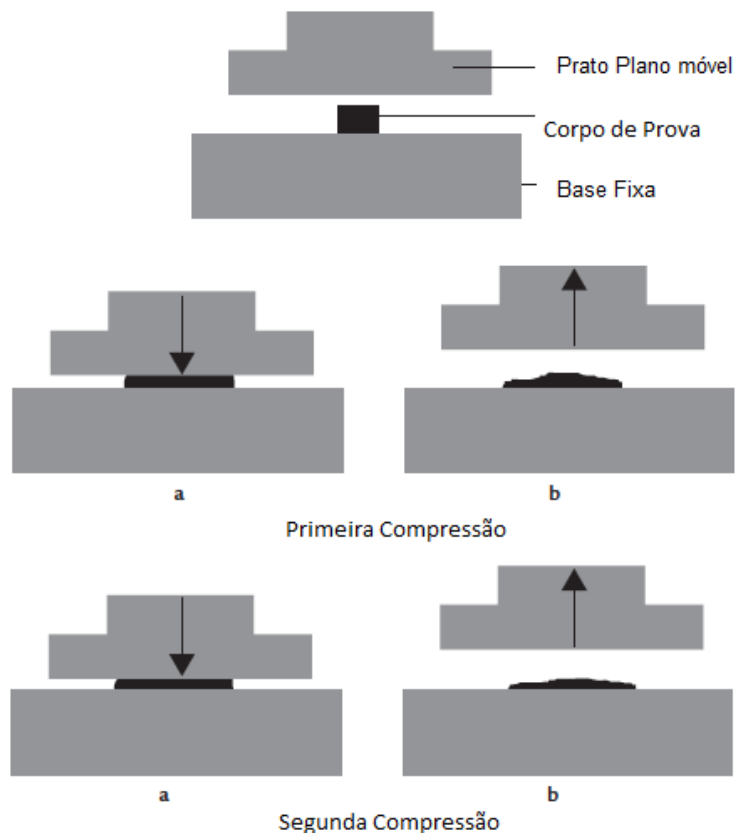


Figura 9 – Diagrama esquemático das duas compressões exigidas para o teste de análise do perfil de textura. (a) movimento descendente do prato plano móvel e paralelo durante a primeira e segunda compressão, (b) movimento ascendente prato plano móvel e paralelo durante a primeira e segunda compressão. Fonte: Adaptado de BOURNE (2002).

Além disso, para que o teste seja utilizado corretamente alguns cuidados precisam ser observados. SZCZESNIAK (1995) apontou que a distinção entre mastigabilidade e gomosidade tem sido muitas vezes negligenciada, ou seja, um alimento é sólido ou semissólido, e assim mastigabilidade e gomosidade são mutuamente excludentes. Consequentemente, muito embora ambos os valores sejam gerados no teste não é correto utilizá-los para o mesmo material. No caso do queijo de coalho, o ideal é a utilização da mastigabilidade, pois o queijo de coalho se encontra na categoria dos alimentos sólidos.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 AQUISIÇÃO DOS QUEIJOS

Foram avaliados quatro tipos de queijo coalho, a saber: tradicional, adicionado de carne seca, adicionado de tomate seco e condimentado com orégano. Os queijos foram adquiridos de um laticínio da região Sudoeste da Bahia no dia de fabricação, em barras de aproximadamente 1kg, sendo utilizada uma barra de cada tipo de queijo em cada dia de análise. A aquisição dos queijos foi realizada em três períodos diferentes, configurando as três repetições, totalizando 8 kg de cada tipo de queijo em cada uma das repetições. As análises mecânicas dos queijos de coalho foram realizadas no Laboratório de Ensaios de Materiais (LABEM) da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (UESB).

3.2 AVALIAÇÃO DA TEXTURA E PROPRIEDADES REOLÓGICAS

O comportamento mecânico dos queijos foi avaliado no dia de fabricação e com, 4, 8, 12, 16, 20, 24 e 28 dias de armazenamento sob refrigeração a 10°C. Os queijos permaneceram em embalagens fechadas a vácuo, sendo abertas apenas no momento da análise quando corpos de prova cilíndricos de 20 mm de diâmetro e 27 mm de altura foram retirados com o auxílio de um dispositivo metálico desenvolvido especialmente para essa finalidade. De cada extremidade dos queijos foram descartados 25 mm, visando manter uma homogeneidade na obtenção dos corpos de prova. Depois foram cortadas transversalmente 4 fatias de 30 mm, das quais foram retirados quatro cilindros, num total de 16 corpos de prova por queijo. Todo o procedimento de retirada de corpos de prova está ilustrado em um esquema na Figura 10. Em seguida, os cilindros foram embalados individualmente em filmes de PVC, e acondicionados em sacos de polietileno resistentes à penetração de líquidos e mantidos em banho de água gelada a 10°C por 1 hora e 30 minutos antes do início dos testes mecânicos para uniformização da temperatura. Durante os ensaios, as amostras foram comprimidas por um prato plano e paralelo (*probe*) de aço inoxidável de 100 mm de diâmetro (P/100).

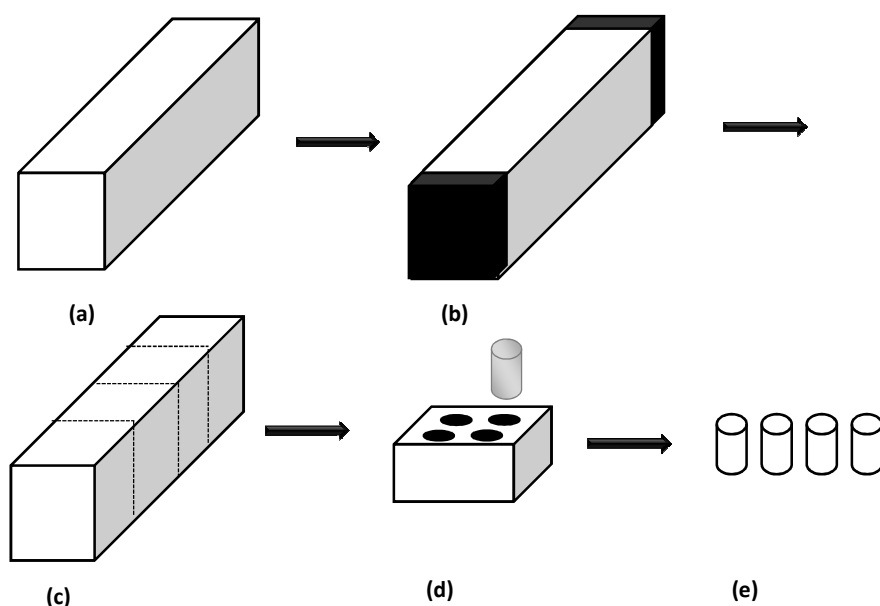


Figura 10 – Esquema da retirada dos corpos de prova dos queijos para os ensaios mecânicos. (a) Barra de queijo retirado da embalagem, (b) descarte das extremidades, (c) corte transversal, (d) retirada dos corpos de prova cilíndricos com dispositivo metálico e (e) corpos de prova.

3.2.1 ANÁLISE DO PERFIL DE TEXTURA INSTRUMENTAL (TPA)

Ensaio de TPA (Texture Profile Analysis) foram realizados utilizando um Analisador de Textura TA.HD plus (Stable Micro Systems, UK) equipado com uma célula de carga de 50 kg. Além disso, o Analisador de Textura foi programado de modo que o movimento descendente começasse a partir de um ponto a oito milímetros acima da superfície do corpo de prova. As seguintes condições experimentais foram selecionadas para todos os ensaios de TPA: velocidade de pré-teste: 1,0 mm/s, velocidade de teste: 2,0 mm/s e velocidade de pós-teste: 2,0 mm/s; 45% de compressão e um período de repouso de 5s entre os dois ciclos; força de gatilho (*trigger*) 1,0 N, e taxa de aquisição de dados de 200 pontos por segundo. Essas condições de configuração foram determinadas através de ensaios preliminares. Para se obter uma boa estimativa da textura dos queijos foram realizadas medições em decuplicata para cada repetição. A programação do experimento e a coleta de dados foram realizadas por meio do programa computacional Texture Expert for Windows 1.20 (Stable Micro Systems, UK).

Sete parâmetros de TPA foram automaticamente calculados de acordo com as definições de BOURNE (2002) pelo programa Texture Expert, a partir da interpretação dos resultados obtidos no diagrama força x deformação: dureza, adesividade, coesividade, elasticidade, mastigabilidade, gomosidade e fraturabilidade.

3.2.2 ANÁLISES REOLÓGICAS DOS QUEIJOS

O comportamento reológico dos queijos foi avaliado através do ensaio de relaxação e fluência (creep). As análises foram realizadas em um Analisador de textura TA.HD plus (Stable Micro Systems, UK), ajustado com uma célula de carga de 50 kg.

3.2.2.1 RELAXAÇÃO

Os ensaios de relaxação foram realizados medindo-se a variação da força aplicada durante 10 minutos, como sugerido por Peleg (1987), após a deformação da amostra. A taxa de deformação utilizada foi de 0,5 mm/s, atingindo a deformação de 10% da altura inicial do corpo de prova. Esse ensaio foi realizado em triplicata para cada repetição.

3.2.2.1.1 FUNÇÃO EXPONENCIAL

Conforme Peleg (1979), as curvas de relaxação foram expressas adimensionalmente usando a relação $F(t)/F_0$ vs tempo, onde $F(t)$ representa a força durante o tempo de relaxação e F_0 representa a força inicial imediatamente após a parada do prato plano de compressão. As curvas assim obtidas foram ajustadas a um modelo viscoelástico constituído de dois modelos de Maxwell e um elemento elástico em paralelo, representado pela Equação 22 e Figura 11:

$$F * (t) = \frac{F(t)}{F_0} = S_0 + S_1 \cdot \exp\left(-\frac{t}{\lambda_{rel1}}\right) + S_2 \cdot \exp\left(-\frac{t}{\lambda_{rel2}}\right) \quad (22)$$

Onde S_0 , S_1 e S_2 são constantes que dependem das propriedades viscoelásticas do material e λ_{rel1} e λ_{rel2} são os tempos de relaxação.

Em termos do módulo da elasticidade,

$$E(t) = E_0 + E_1 \cdot \exp\left(-\frac{t}{\lambda_{rel1}}\right) + E_2 \cdot \exp\left(-\frac{t}{\lambda_{rel2}}\right) \quad (23)$$

Onde E_1 e E_2 são os módulos de elasticidade dos elementos 1 e 2 e E_0 é o módulo de elasticidade de equilíbrio, ou o módulo de elasticidade a um tempo infinito. E_0 , E_1 e E_2 foram obtidos a partir dos coeficientes S_0 , S_1 e S_2 de acordo com a relação:

$$E_i = \frac{S_i \cdot F_0}{\epsilon \cdot A_0} \quad i=0,1 \text{ e } 2 \quad (24)$$

Onde A_0 é a área da secção transversal do corpo de prova cilíndrico e $\epsilon = 1 - (H/H_0)$ é a deformação.

O valor do coeficiente de viscosidade do elemento i (η_i) foi estimado utilizando a Equação 25.

$$\eta_i = E_i \cdot \lambda rel_i \quad (25)$$

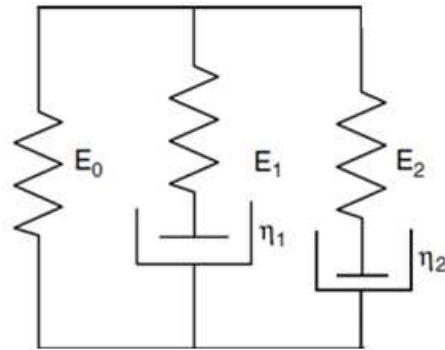


Figura 11 – Modelo consistindo de dois elementos de Maxwell e um elemento elástico em paralelo.

Fonte: Adaptado de STEFEE (1996)

3.2.2.1.2 LINEARIZAÇÃO DO MODELO EXPONENCIAL

Conforme sugerido por Peleg (1979), as curvas de relaxação foram normalizadas em relação à força inicial, conforme a equação:

$$Y(t) = \frac{F_0 - F(t)}{F_0} \quad (26)$$

Onde $F(t)$ e F_0 são, respectivamente, a força medida no tempo t e a força imediatamente após a compressão ($t=0$).

Os valores de $t/Y(t)$ foram plotados em função do tempo, de acordo com a equação:

$$\frac{t}{Y(t)} = k_1 + k_2 t \quad (27)$$

Onde k_1 e k_2 são constantes que dependem das propriedades viscoelásticas do material.

3.2.2.2 ENSAIO DE FLUÊNCIA E RECUPERAÇÃO

O ensaio de “creep” (fluência) foi realizado aplicando-se uma força constante igual a 5 N ao corpo de prova durante 240 s. Após esse tempo, a força foi retirada e a recuperação do corpo foi então medida por mais 240 s. Os resultados foram expressos em termos da proporção entre a deformação medida e a tensão aplicada (conhecida como compliância). As curvas de creep (compliância (Pa^{-1}) vs tempo (s)) foram ajustadas a um modelo constituído de dois modelos de Kelvin conectados em série a um elemento elástico e a um elemento viscoso, representado pela Equação 28 e demonstrado na Figura 12:

$$D(t) = D_0 + D_1 \left[1 - \exp \left(-\frac{t}{(\lambda_{ret})_1} \right) \right] + D_2 \left[1 - \exp \left(-\frac{t}{(\lambda_{ret})_2} \right) \right] + \frac{t}{\eta} \quad (28)$$

Onde D_0 é a compliância instantânea (Pa^{-1}), η é a viscosidade newtoniana (Pa.s), D_1 e D_2 são as compliâncias retardadas relativas aos elementos 1 e 2 (Pa^{-1}) e λ_{ret_1} e λ_{ret_2} são os tempos de retardação associados aos elementos 1 e 2 (s).

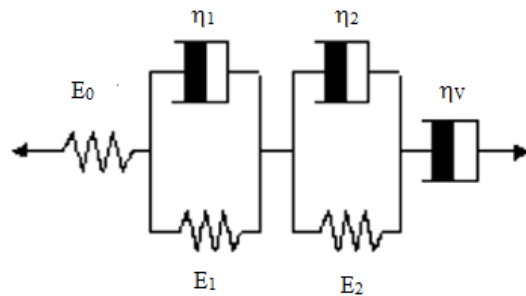


Figura 12 - Modelo consistindo de dois modelos de Kelvin conectados em série a um elemento elástico e a um elemento viscoso.

Fonte: GUNASEKARAN & AK, (2003).

3.3 PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL E ANÁLISE ESTATÍSTICA

O experimento foi realizado em um delineamento em bloco casualizado (DBC), em um esquema fatorial de 4 tratamentos x 8 intervalos de tempos.

Os resultados obtidos na análise instrumental de textura foram submetidos ao teste F da análise de variância (ANOVA) para testar as diferenças entre tratamentos, entre tempos e a interação tempo versus tratamento. Além disso, foi utilizado o teste de Tukey para comparação entre médias de tratamentos com nível de significância de 10%, e análise de regressão linear para os parâmetros da análise de textura em função do tempo.

Para realização das análises estatísticas foi empregado o pacote estatístico *Statistical Analysis System* (SAS[®]) versão 9.0. Em relação aos dados obtidos nos ensaios reológicos foi realizada regressão não linear objetivando ajuste dos modelos. Os parâmetros (D_0 , D_1 , D_2 , λ_{ret_1} e λ_{ret_2}) foram estimados para a fluência e (S_0 , S_1 , S_2 , λ_{rel_1} e λ_{rel_2}) para a relaxação, especificamente para cada tratamento, em cada dia utilizando o procedimento PROC NLIN do SAS. Da mesma forma, o modelo de Peleg (Equação 27) foi ajustado aos dados de relaxação e os parâmetros k_1 e k_2 foram estimados para cada tratamento em função do tempo utilizando o procedimento PROC GLM do SAS. O coeficiente de correlação foi determinado utilizando o procedimento PROC CORR do SAS. Para elaboração dos gráficos foi utilizado o software SigmaPlot 11.0 (SIGMAPLOT, 2008).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 ANÁLISE DO PERFIL DE TEXTURA INSTRUMENTAL (TPA)

Na Tabela 1 são apresentados os valores médios para os atributos da análise instrumental do perfil de textura (TPA) (dureza, mastigabilidade, elasticidade e coesividade) dos queijos de coalho avaliados em 0, 4, 8, 12, 16, 20, 24 e 28 dias de fabricação sob armazenamento refrigerado. As repostas das variáveis dependentes são médias de três repetições feitas em decuplicatas.

É importante observar que o parâmetro adesividade obtido na análise do perfil de textura foi descartado, pois o corpo de prova raramente aderiu ao prato de compressão, resultando assim em valores inconsistentes. Esse fato pode ser comprovado pelo consumidor do queijo de coalho, que percebe que ele não possui aderência na boca, e não se liga de forma significativa ao palato. Halmos et al. (2003) sugerem que para os produtos como queijo *cottage* ou iogurte o parâmetro é mais útil, mas para queijos duros como cheddar e parmesão, o estudo da adesividade não é recomendado, assim como para o caso do queijo de coalho. Além disso, esse parâmetro apresenta uma alta variabilidade não sendo possível mensurá-lo com precisão.

Outros dois parâmetros obtidos no ensaio de TPA também não foram discutidos (fraturabilidade e gomosidade), pois durante os ensaios os corpos de prova que se desintegravam eram descartados, sendo tal ensaio desconsiderado. E ainda pela natureza sólida do alimento, e a correta aplicação do TPA, o parâmetro mastigabilidade se mostra muito mais coerente do que a gomosidade.

A partir da observação do Anexo I que apresentam os quadros da análise de variância (ANOVA) para os parâmetros dureza, mastigabilidade, elasticidade e coesividade, foi possível inferir que não houve interação dos fatores tratamento x tempo, o que nos permite uma abordagem individual para cada um deles (efeitos principais), uma vez que esses atuam de maneira independente.

Além disso, é possível observar nitidamente as diferenças no comportamento das curvas obtidas para a análise do perfil de textura de cada queijo de coalho no 4º dia (Figura 13). A forma côncava da parte inicial da curva relativa ao primeiro ciclo de compressão (forma sigmóide) aponta de maneira geral para a maciez do queijo de coalho, sendo semelhante ao que foi relatado por Mohsenin (1986), que menciona que a parte inicial da curva para tecidos biológicos macios é geralmente côncava na direção do eixo da força. Segundo Bourne (2002)

é o mesmo tipo de curva normalmente encontrado para outros tipos de queijos, marshmallows e vegetais mais macios.

Tabela 1 – Valores médios e desvios-padrão de dureza, mastigabilidade, elasticidade e coesividade obtidas na análise instrumental do perfil de textura dos queijos de coalho.

Dureza (N)								
Tratamento /Tempo	0	4	8	12	16	20	24	28
Tradicional	94,77a (±19,92)	109,07a (±13,06)	109,19a (±20,18)	107,00a (± 18,84)	112,21a (±11,43)	110,79a (±17,49)	106,91a (±17,53)	117,68a (±17,51)
Orégano	102,97a (±17,23)	106,75a (±15,97)	113,35a (±14,87)	104,96 ^a (± 13,23)	103,96a (±12,14)	103,56a (±12,74)	121,08a (±9,33)	122,49a (±13,85)
Carne	74,05b (±18,43)	85,51b (±9,64)	82,76b (±9,75)	88,15b (±16,61)	87,00b (±15,47)	105,29b (±7,66)	96,48b (±10,26)	94,63b (±14,52)
Tomate	59,53c (±16,07)	66,75c (±16,23)	82,51c (±15,20)	75,46c (±13,59)	81,80c (±12,50)	83,72c (±6,47)	78,69c (±16,67)	71,05c (±13,18)
Mastigabilidade (N)								
Tradicional	54,21a (±12,16)	62,83a (±10,68)	65,25a (±16,03)	63,15a (±13,77)	64,24a (±8,78)	61,15a (±10,95)	62,31a (±6,26)	69,32a (±9,74)
Orégano	56,27a (±7,26)	60,08a (±12,18)	60,08a (±15,39)	59,19a (±8,62)	58,57a (±20,90)	58,32a (±7,93)	68,56a (±7,79)	68,18a (±14,59)
Carne	37,25b (±8,74)	47,72b (±8,41)	46,17b (±10,85)	46,16b (±18,53)	46,61b (±11,49)	55,35b (±6,30)	42,74b (±13,54)	46,82b (±11,32)
Tomate	30,08c (±9,79)	33,33c (±8,64)	37,28c (±5,56)	37,35c (±8,52)	37,83c (±4,67)	40,44c (±6,67)	37,91c (±11,30)	35,50c (±18,51)
Elasticidade*								
Tradicional	0,87a (±0,01)	0,87a (±0,01)	0,87a (±0,01)	0,87a (±0,01)	0,87a (±0,01)	0,87a (±0,01)	0,86a (±0,01)	0,88a (±0,00)
Orégano	0,87a (±0,01)	0,86a (±0,01)	0,87a (±0,01)	0,87a (±0,01)	0,86a (±0,00)	0,86a (±0,01)	0,86a (±0,01)	0,86a (±0,01)
Carne	0,85b (±0,01)	0,85b (±0,01)	0,86b (±0,00)	0,85b (±0,01)	0,85b (±0,01)	0,84b (±0,01)	0,85b (±0,01)	0,84b (±0,02)
Tomate	0,85b (±0,02)	0,84b (±0,04)	0,83b (±0,04)	0,83b (±0,03)	0,84b (±0,02)	0,84b (±0,02)	0,84b (±0,02)	0,83b (±0,02)
Coesividade*								
Tradicional	0,62a (±0,13)	0,64a (±0,11)	0,68a (±0,05)	0,67a (±0,08)	0,67a (±0,06)	0,67a (±0,07)	0,69a (±0,04)	0,68a (±0,03)
Orégano	0,62ab (±0,13)	0,64ab (±0,09)	0,62ab (±0,14)	0,65ab (±0,08)	0,63ab (±0,13)	0,65ab (±0,09)	0,65ab (±0,05)	0,66ab (±0,06)
Carne	0,56b (±0,21)	0,63b (±0,10)	0,62b (±0,13)	0,59b (±0,14)	0,64b (±0,09)	0,62b (±0,10)	0,65b (±0,07)	0,60b (±0,11)
Tomate	0,51c (±0,23)	0,54c (±0,23)	0,51c (±0,25)	0,56c (±0,13)	0,52c (±0,23)	0,57c (±0,09)	0,53c (±0,20)	0,54c (±0,16)

a,b,c - Médias seguidas de diferentes letras minúsculas na mesma coluna indicam as diferenças significativas ($p < 0,10$) entre os queijos de coalho para cada parâmetro do TPA.

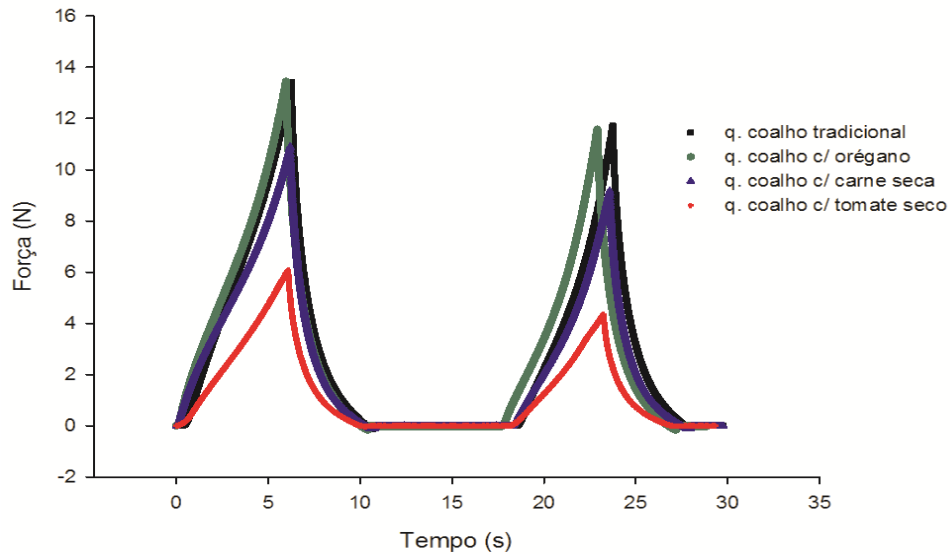


Figura 13 - Análise do perfil de textura instrumental dos queijos de coalho (4º dia).

4.1.1 Dureza

Observou-se que as amostras de queijo de coalho apresentaram diferenças significativas ($p < 0,10$) quanto ao parâmetro dureza. Assim, a adição de tomate seco e carne seca na fabricação dos queijos de coalho afetaram significativamente essa propriedade. A dureza do queijo dá uma ideia da firmeza do alimento, sendo uma propriedade sensorial definida como a força necessária para comprimir o alimento entre os dentes molares, e instrumentalmente, como a força requerida para causar uma determinada deformação.

O queijo de coalho com tomate seco foi o que apresentou menor valor médio para dureza, seguido do queijo de coalho adicionado de carne seca. Os maiores valores médios de dureza (mais firmes) foram apresentados pelos queijos de coalho tradicional e o queijo de coalho condimentado com orégano (Tabela 1 e Figura 13).

Provavelmente o tomate seco e a carne seca adicionados no processo de fabricação do queijo de coalho promoveram um impedimento de homogeneidade na massa, aumentando assim as falhas macroscópicas e causando alterações na estrutura dos queijos, o que os tornam menos firmes. Para corroborar com essa pressuposição observou-se que o orégano pela sua granulometria, quando adicionado ao queijo de coalho durante o processo de manufatura não afetou significativamente nenhuma de suas características mecânicas. E finalmente, o queijo de coalho adicionado de tomate seco se mostrou o menos firme (duro) de todos. Isto pode ser explicado, tendo em vista que as propriedades reológicas dos queijos são função da sua composição, microestrutura, do estado físico-químico de seus componentes, da força das

interações entre os elementos estruturais que o compõe e de sua macroestrutura (presença de olhaduras, fissuras, etc.) (FOX et al., 1998; KONSTANCE&HOLSINGER, 1992).

Além do mais, de maneira geral pode-se dizer que um alimento com maior teor de gordura resulta na diminuição da dureza (BRYANT et al.,1995), pois a gordura age como um lubrificante, reduzindo a tensão necessária para romper a matriz proteica. Nesse sentido, como o tomate seco e a carne seca possuem maior teor de gordura que o orégano, e esta gordura intrínseca destes podem ter alterado o conteúdo lipídico do produto, os queijos resultaram em menor dureza.

Em função do tempo de armazenamento refrigerado foi necessário realizar análise de regressão, uma vez que o fator tempo é uma variável quantitativa. As equações obtidas mostradas na Tabela 2, juntamente com o coeficiente de determinação e a probabilidade, podem auxiliar na elucidação do comportamento da dureza dos queijos em função do seu armazenamento refrigerado.

Tabela 2 - Modelos matemáticos para dureza dos queijos de coalho em função do tempo de armazenamento sob refrigeração.

Queijo de Coalho	Modelo	R ²	P
orégano	dureza (N) = 0,5290T + 102,47	55,00%	0,084
carne seca	dureza (N) = 0,7898 T + 80,09	66,33%	0,013
tomate seco	dureza (N) = -0,0840 T ² + 2,79T + 59,28	84,00%	0,009

T = dia, onde $0 \leq T \leq 28$.

Não houve nenhum modelo que se ajustasse aos dados experimentais para explicar a variação da dureza com o tempo para o queijo de coalho tradicional.

Para os queijos de coalho condimentado com orégano e adicionado de carne seca, um modelo polinomial de primeira ordem foi ajustado, e a porcentagem de variação explicada (R²) para a dureza foi igual a 55,00% (orégano), e 66,33% (carne seca). No entanto, esses coeficientes de determinação foram relativamente pequenos.

Para o queijo de coalho adicionado de tomate seco um modelo polinomial de segunda ordem foi ajustado. De maneira geral, a dureza para o queijo de coalho com tomate seco tem um pequeno aumento com o passar dos dias até atingir um valor máximo, voltando a decrescer posteriormente.

Portanto, apenas o modelo matemático ajustado para o queijo adicionado de tomate seco é significativo e útil no sentido de predição da variável dureza em função do tempo de armazenamento refrigerado dentro do intervalo estudado.

Avaliando a dureza da análise do perfil de textura para queijo de coalho tradicional, Buzato (2011) não observou variação desse atributo em função do tempo. Santos Júnior et al. (2012), encontraram valores para dureza do queijo de coalho adicionado de carne seca de 74,19 N a 108,24 N, próximos aos encontrados nesse trabalho (74,05 N a 94,63 N).

A Figura 14 mostra a variação dos valores médios da dureza com o tempo para os queijos (com orégano, com carne seca e com tomate seco) estudados.

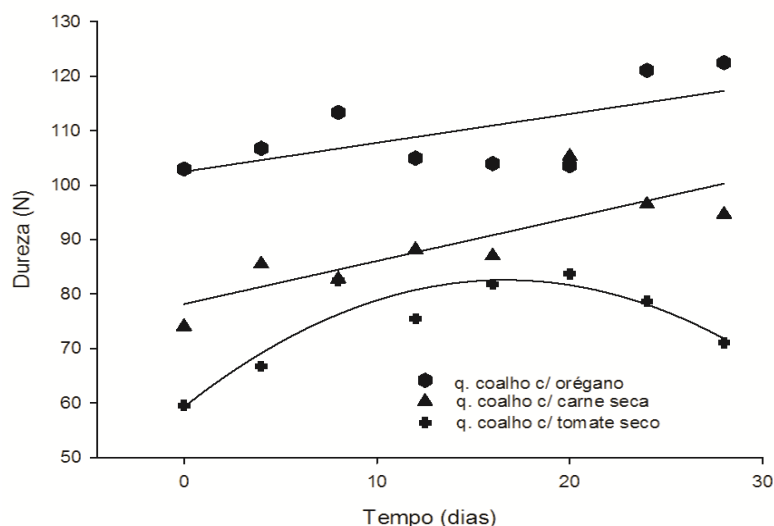


Figura 14 – Variação dos valores médios da dureza durante os 28 dias de armazenamento refrigerado.

4.1.2 Mastigabilidade

O teste F da análise de variância (ANOVA) revelou a existência de diferenças significativas ($p < 0,10$) entre os queijos de coalho estudados para a mastigabilidade (Anexo I). Esse atributo é uma propriedade secundária do TPA, sendo o resultado do produto dos parâmetros dureza, coesividade e elasticidade (FOX, 2000).

O queijo de coalho tradicional e o queijo de coalho condimentado com orégano foram os que apresentaram maior exigência de energia para serem desintegrados (mastigabilidade), não havendo, portanto a influência do condimento orégano nessa propriedade. Diferentemente, o queijo de coalho adicionado de carne seca apresentou valor inferior aos dois primeiros e superior ao queijo de coalho adicionado de tomate seco (Tabela 1).

Os resultados de mastigabilidade e de dureza dos queijos de coalho apresentaram forte correlação positiva ($r = 0,92$). Ou seja, os queijos mais duros apresentaram maior

mastigabilidade, enquanto que os mais macios exigem menor energia para desintegrá-los ao ponto da deglutição.

Avaliando a influência da relação caseína/gordura do leite e da temperatura de cozimento da massa no rendimento de fabricação e nas propriedades físico-químicas, funcionais e sensoriais do queijo de coalho tradicional, Buzato (2011) encontrou valores de mastigabilidade de 39,24 N a 98,1 N, que são bem próximos aos do queijo de coalho tradicional obtidos nesse trabalho (54,21 N a 69,32 N).

O resultado da regressão linear assim como as equações ajustadas são apresentados na Tabela 3, juntamente com o coeficiente de determinação e a probabilidade.

Tabela 3 – Modelos matemáticos para mastigabilidade dos queijos de coalho em função do tempo de armazenamento sob refrigeração.

Queijo de Coalho	Modelo	R²	P
tradicional	mastigabilidade (N) = 0,2739 T + 58,97	48,56%	0,0948
orégano	mastigabilidade(N) = 0,529 T + 102,47	57,45%	0,0298
tomate seco	mastigabilidade (N) = -0,0293 T ² + 1,031 T +29,98	92,44%	0,0016

T = dia, onde $0 \leq T \leq 28$.

O acréscimo da energia requerida para a desintegração dos queijos de coalho durante 28 dias de armazenamento sob refrigeração pode ser explicado através dos modelos matemáticos para o parâmetro mastigabilidade. Tal variação tem sua fonte ligada à dureza dos materiais onde, aumentos proporcionados pelo aumento da resistência dos queijos exigirão maior necessidade energética para a sua mastigação.

Um modelo polinomial de 1º grau foi ajustado para os queijos de coalho tradicional e de coalho condimentado com orégano cuja porcentagem de variação explicada (R²) é de 48,56% e 57,45% respectivamente. Entre os modelos testados não houve ajuste satisfatório aos dados de mastigabilidade para o queijo de coalho adicionado com carne seca no período de avaliação.

De forma semelhante à dureza, para o queijo de coalho adicionado de tomate seco, um modelo polinomial de segunda ordem foi ajustado. Apenas nesse caso, percebe-se que a mastigabilidade tem um pequeno aumento com o passar dos dias até atingir um valor máximo, e a partir de então volta a decrescer. Comportamento semelhante foi encontrado por Fogaça et al. (2012) estudando o queijo de coalho adicionado de tomate seco nos 15 primeiros dias de armazenamento refrigerado.

Entre os modelos matemáticos ajustados aos dados experimentais para a variação da mastigabilidade em função do tempo de armazenamento refrigerado, apenas o modelo para o queijo adicionado de tomate seco tem capacidade preditiva dentro do intervalo estudado.

Na Figura 15 estão apresentados os dados da mastigabilidade mostrando a tendência de variação em seus valores médios com o tempo para os queijos de coalho (tradicional, com orégano e com tomate seco).

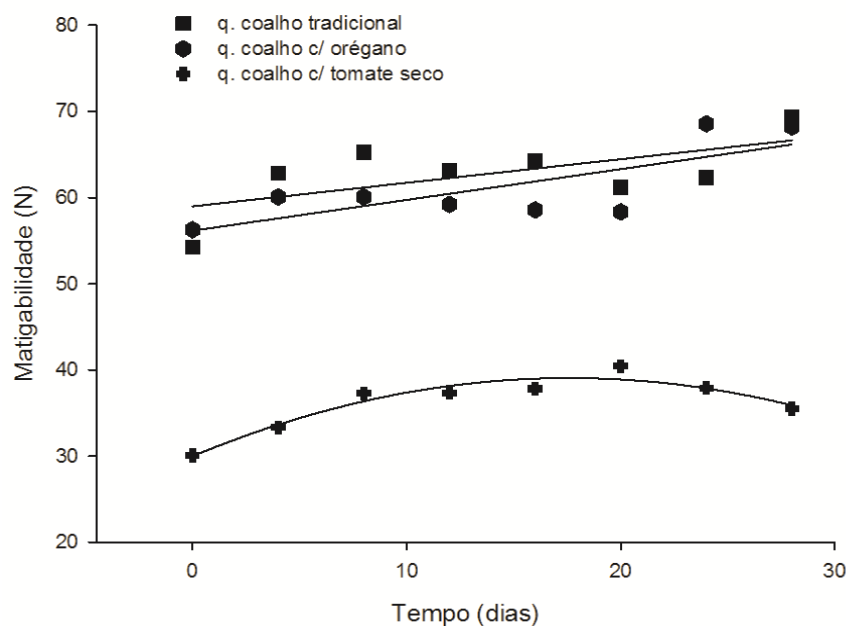


Figura 15 – Variação dos valores médios da mastigabilidade durante os 28 dias de armazenamento refrigerado.

4.1.3 Elasticidade

No Anexo I estão os resultados do teste F da análise de variância (ANOVA), que indicam diferenças significativas ($p < 0,10$) quanto à elasticidade para os diferentes queijos de coalho objeto desse experimento.

O teste de comparação entre médias (Tukey) utilizado, revela que a adição de orégano na fabricação do queijo de coalho não afetou a elasticidade do queijo, não obstante as médias para o queijo de coalho tradicional e o queijo de coalho condimentado com orégano não diferiram entre si (Tabela 1).

De outra maneira, o queijo de coalho adicionado de carne seca e o queijo de coalho adicionado de tomate seco não diferiram significativamente entre si, e são os que apresentaram menores valores médios para a elasticidade. Ou seja, possuem menor capacidade de recuperação de sua altura original quando submetidos a uma tensão.

Em primeiro lugar os pedaços de carne seca e tomate seco adicionados ao queijo de coalho contribuíram para manter a falta de uniformidade resultando em falhas intermitentes na sua estrutura. Além do que, presumidamente o conteúdo de gordura desses queijos são superiores ao queijo de coalho tradicional e ao queijo de coalho condimentado com orégano, pois o tomate seco possui um alto nível de gordura oriundo de seu preparo, e assim certamente provocará um aumento efetivo do teor lipídico total do queijo de coalho quando esse for adicionado à massa. De maneira análoga, acontece com a carne seca quando adicionada ao queijo de coalho em sua fabricação.

Esses resultados são semelhantes aos obtidos por Bryant et al.(1995), Tunick et al. (1993) e Valle et al. (2004), que verificaram que à medida que o teor de gordura aumenta, diminui a dureza, elasticidade e a mastigabilidade do queijo.

Para prever os valores da elasticidade dos queijos de coalhos em função do tempo de armazenamento foram ajustados modelos lineares que são mostrados na Tabela 4.

Tabela 4 - Modelos matemáticos para elasticidade dos queijos de coalho em função do tempo de armazenamento sob refrigeração.

Queijo de Coalho	Modelo	R²	P
orégano	elasticidade* = - 0,004 T+ 0,8682	80,25%	0,0372
carne seca	elasticidade* = -0,0005 T + 0,8549	77,88%	0,0037

* Parâmetro adimensional.
T = dia, onde $0 \leq T \leq 28$.

Entre os modelos testados não houve ajuste satisfatório aos dados de elasticidade para o queijo de coalho tradicional e o queijo de coalho adicionado com tomate seco no intervalo estudado.

Equações polinomiais de 1º grau foram ajustadas para os dados experimentais de elasticidade em função do tempo de armazenamento refrigerado para os queijos de coalho condimentado com orégano e adicionado de carne seca cujos coeficientes de determinações (R²) foram 80,25% e 77,88% respectivamente.

Mediante a observação dos modelos ajustados, percebe-se que houve uma tendência à diminuição da elasticidade com o passar dos dias. Esse fenômeno é consequência da propensão à quebra proteolítica da matriz de caseína, que é a principal responsável pela rigidez do queijo, cujo desdobramento é naturalmente esperado durante a armazenagem dos queijos resultando em queijos menos flexíveis (TUNICK et al., 1993).

Os dados experimentais da elasticidade dos queijos de coalho (com orégano e com carne seca) em função do tempo sob armazenamento refrigerado são mostrados na Figura 16.

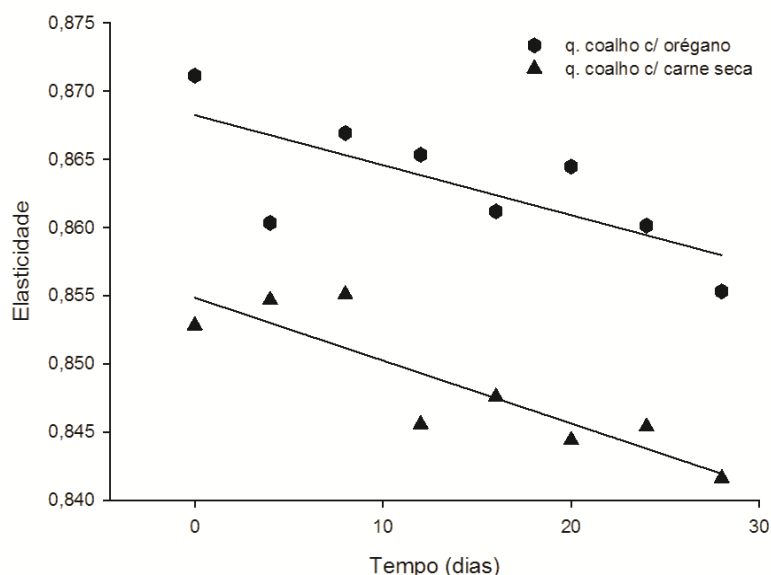


Figura 16 – Variação dos valores médios da elasticidade durante os 28 dias de armazenamento refrigerado.

4.1.4 Coesividade

Através da análise dos dados do Anexo I, pode-se inferir que os queijos de coalho apresentaram diferenças significativas ($p < 0,10$) para o atributo coesividade.

O condimento orégano adicionado ao queijo de coalho e a carne seca nesse caso não apresentaram diferenças quanto ao seu efeito provocado no valor médio para coesividade. O queijo de coalho tradicional foi o que se mostrou mais coeso, isto é, que possui maior força de ligações internas, e assim maior resistência à desintegração estrutural.

Por outro lado o queijo de coalho adicionado de tomate seco foi o que se mostrou menos coeso e, portanto o mais quebradiço de todos.

Os resultados de coesividade e de dureza dos queijos de coalho apresentaram uma tendência à variação conjunta, fato esse que pode ser demonstrado por $r = 0,69$. Logo, os queijos mais coesos obviamente são os que exigem maior força necessária para alcançar determinada deformação do ponto de vista mecânico.

Em função do tempo de armazenamento refrigerado foi necessário proceder à análise de regressão e as equações obtidas são mostradas na Tabela 5 juntamente com o coeficiente de determinação e a probabilidade.

Tabela 5 - Modelos matemáticos para coesividade dos queijos de coalho em função do tempo de armazenamento sob refrigeração.

Queijo de Coalho	Modelo	R ²	P
tradicional	coesividade* = 0,0018 T + 0,6406	65,73%	0,0146
orégano	coesividade* = 0,0011 T + 0,6237	59,29%	0,0254

* Parâmetro adimensional.
T = dia, onde $0 \leq T \leq 28$.

Não foi possível ajustar satisfatoriamente os dados de coesividade em função do tempo de armazenamento sob refrigeração para os queijos de coalho adicionado de carne seca e adicionado de tomate seco aos modelos testados.

Modelos matemáticos polinomiais de 1º grau foram ajustados para os dados experimentais de coesividade em função do tempo de armazenamento refrigerado para os queijos de coalho tradicional e condimentado com orégano, que apresentaram coeficientes de determinações (R²) igual a 65,73% e 59,29% respectivamente.

A coesividade mostrou um pequeno aumento para os queijos com o passar dos dias. Possivelmente devido à perda de água livre por evaporação, pois a água atua juntamente com a gordura como um lubrificante entre os agregados de caseína. Assim sendo, uma diminuição no teor de umidade resulta em aumento da dureza do queijo (FOX et al., 1998), e consequentemente da coesividade, já que essas variáveis mostraram boa correlação linear.

A Figura 17 mostra os dados experimentais da coesividade compilados para os queijos de coalho (tradicional e com orégano) mostrando sua variação média com o tempo de armazenamento refrigerado.

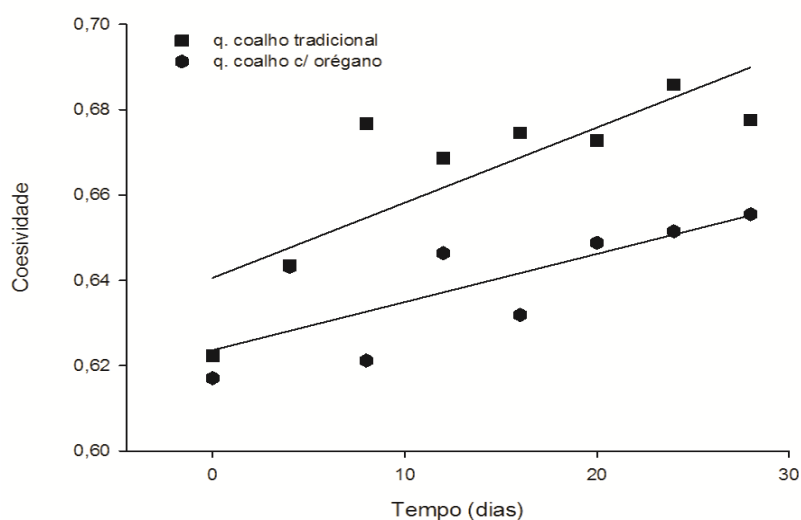


Figura 17 - Variação dos valores médios da coesividade durante os 28 dias de armazenamento refrigerado.

4.2 ANÁLISES REOLÓGICAS

Os resultados das análises reológicas são mostrados e discutidos nos itens 4.2.1 e 4.2.2. É importante ressaltar que esses ensaios se restringiram a aplicação de pequenas deformações, caracterizando apenas os aspectos da viscoelasticidade linear.

4.2.1 RELAXAÇÃO

4.2.1.1 FUNÇÃO EXPONENCIAL

Segundo Peleg (1987), durante o experimento, a tensão aplicada devido à compressão feita, é reduzida pela ruptura de ligações químicas de elevado conteúdo energético, seguida pela concomitante formação de ligações com menor conteúdo energético e pelo desencadeamento do escoamento.

Os dados obtidos nos ensaios de relaxação foram ajustados ao modelo generalizado de Maxwell com $n=2$ que apresenta um decaimento bi exponencial (Equação 22), através de regressão não linear. As curvas experimentais obtidas apresentaram boa correlação ($R^2 > 0,99$) e todos os parâmetros do modelo foram significativos ($p < 0,10$).

Os valores dos parâmetros S_0 , S_1 , S_2 , λ_{rel_1} e λ_{rel_2} obtidos por regressão não linear e os respectivos coeficientes de determinação (R^2) são mostrados na Tabela 6, e foram utilizados para obtenção dos módulos de elasticidade E_0 , E_1 , E_2 e os coeficientes de viscosidades η_1 e η_2 , conforme descrito anteriormente no item 3.2.2.1.1.

Na Figura 18 são apresentadas as curvas de relaxação para cada tipo de queijo de coalho.

Tabela 6 - Valores dos parâmetros S_0 , S_1 , S_2 , λ_{rel_1} e λ_{rel_2} obtidos através do ajuste dos dados experimentais gerados no ensaio de relaxação ao modelo generalizado de Maxwell com $n=2$.

Queijo Coalho	Tempo	S_0	S_1	S_2	$\lambda_{rel_1}(s)$	$\lambda_{rel_2}(s)$	R^2
Tradicional	0	0,2115	0,5426	0,3494	14,41	204,08	99,7
	4	0,2419	0,5163	0,3533	14,26	208,33	99,69
	8	0,2415	0,5259	0,3386	14,35	204,08	99,69
	12	0,2332	0,5337	0,3479	14,14	204,08	99,68
	16	0,2451	0,5082	0,3363	14,47	212,76	99,7
	20	0,249	0,5129	0,3313	14,43	212,76	99,64
	24	0,2523	0,5103	0,3335	13,95	204,08	99,67
	28	0,2549	0,5357	0,3109	14,06	212,76	99,67
Orégano	0	0,2349	0,5241	0,341	13,88	200	99,71
	4	0,228	0,4917	0,3315	13,68	200	99,7
	8	0,2458	0,544	0,3231	13,75	196,08	99,69
	12	0,2476	0,5088	0,3298	13,83	200	99,68
	16	0,2584	0,5012	0,3308	13,71	204,08	99,69
	20	0,2591	0,5114	0,3129	13,93	200	99,69
	24	0,2671	0,5227	0,3222	13,57	200	99,66
	28	0,2799	0,5194	0,3143	13,33	200	99,63
Carne Seca	0	0,2129	0,4898	0,3381	14,51	192,37	99,7
	4	0,2123	0,4752	0,3416	13,67	196,08	99,68
	8	0,2245	0,4943	0,3429	13,36	188,67	99,69
	12	0,2425	0,4981	0,3267	14,24	196,08	99,7
	16	0,2223	0,4963	0,3359	13,96	200	99,68
	20	0,2322	0,4721	0,3215	13,33	192,3	99,66
	24	0,2228	0,4742	0,3215	13,42	192,3	99,66
	28	0,2285	0,4695	0,3242	13,36	196,07	99,66
Tomate Seco	0	0,2012	0,4955	0,3349	13,98	196,07	99,69
	4	0,1934	0,4702	0,3367	13,62	196,08	99,7
	8	0,2113	0,4932	0,3239	13,35	192,3	99,66
	12	0,1992	0,4829	0,3225	13,79	200	99,69
	16	0,2198	0,4796	0,3272	14,01	196,07	99,71
	20	0,2093	0,4722	0,3206	13,68	200	99,64
	24	0,2149	0,4887	0,3108	13,53	208,33	99,68
	28	0,2207	0,4666	0,3025	12,65	188,67	99,61

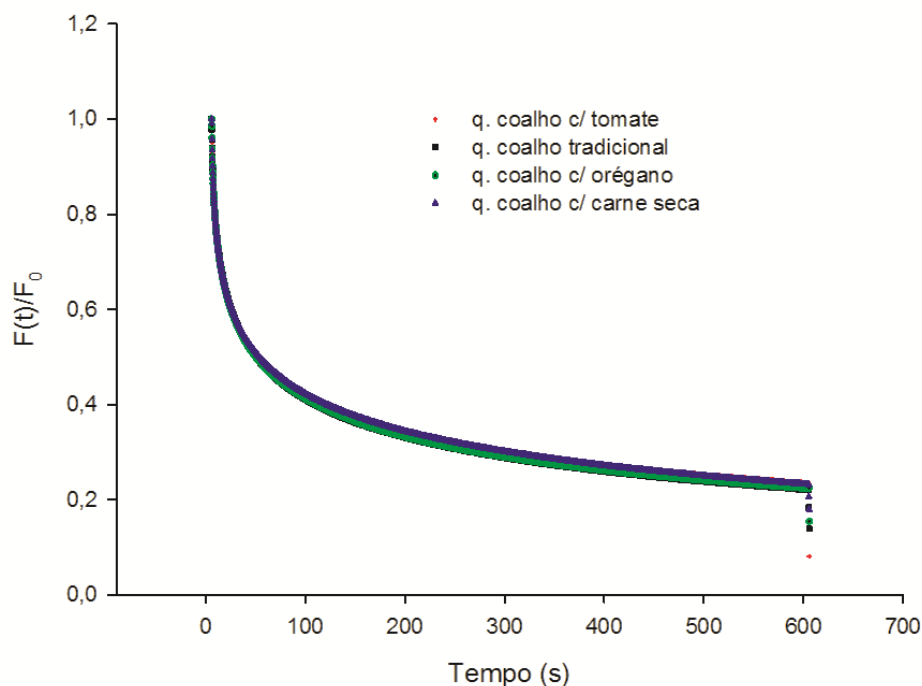


Figura 18 – Curvas de relaxação obtidas dos dados experimentais para os queijos de coalho (4º dia).

O teste F da análise de variância apresentado no Anexo II permite inferir quanto à influência da adição de orégano, carne seca e tomate seco na fabricação do queijo de coalho, em relação aos parâmetros viscoelásticos estudados.

Assim, o maior tempo de relaxação (λ_{rel2}) (tempo de relaxação para o elemento do modelo de Maxwell, $n = 2$) e o coeficiente de viscosidade (η_2) não foram afetados significativamente ($p > 0,10$) pela adição de carne seca, orégano e tomate seco ao queijo de coalho.

Em relação aos demais parâmetros, módulos de elasticidade (E_0 , E_1 , E_2), menor tempo de relaxação (λ_{rel1}) e coeficiente de viscosidade (η_1), observou-se a existência de diferenças significativas ($p < 0,10$) para os queijos analisados.

Nesse sentido, o queijo de coalho adicionado de tomate seco foi o que apresentou menor valor médio para os módulos de elasticidade E_0 , E_1 e E_2 . Ou seja, para todos os elementos do modelo o tomate seco alterou a capacidade do queijo de coalho em recuperar sua forma original quando submetidos a uma tensão.

Desta forma, um alto valor para o módulo de elasticidade sugere que a matriz de caseína é elástica e contínua, com fortes atrações intermoleculares (FOX et al., 1998). Presumidamente a adição de tomate seco e carne seca ao queijo de coalho além da possível

alteração macroscópica afetaram também o equilíbrio dinâmico entre os componentes constitutivos da massa, resultando em alterações estruturais.

Além disso, o queijo de coalho tradicional e o queijo de coalho com carne seca foram os que apresentaram maior valor médio para o tempo de relaxação λrel_1 , esse sendo na prática definido como o tempo para a tensão diminuir até 37% do seu nível inicial.

O coeficiente de viscosidade é uma medida da resistência do corpo ao fluxo, quando este é submetido a uma tensão e, nesse caso reflete na maciez do queijo. Quanto maior a resistência à deformação (η), menor será a maciez do queijo.

Em relação ao tempo de armazenamento refrigerado foi necessária a realização de regressão linear para modelar o comportamento dos parâmetros viscoelásticos, já que o fator tempo é uma variável quantitativa. Nesse caso o teste F-ANOVA não é o mais apropriado.

A Tabela 7 apresenta os modelos matemáticos ajustados para os parâmetros (E_1 , E_2 , λrel_1 e η_1) obtidos do modelo generalizado de Maxwell (n=2) para os queijos de coalho em função do tempo de armazenamento sob refrigeração. Para os demais termos do modelo generalizado de Maxwell não houve ajuste satisfatório.

Tabela 7 - Modelos matemáticos para os parâmetros viscoelásticos obtidos (Modelo de Maxwell) para os queijos de coalho em função do tempo de armazenamento sob refrigeração.

Modelo	R ²	P
$E_1(\text{Pa}) = - 106,62 T + 80273$	71,84%	0,0044
$E_2(\text{Pa}) = - 162,42 T + 54707$	85,60%	0,0060
$\lambda rel_1 = - 0,0143 T + 14,059$	62,00%	0,0030
$\eta_1 (\text{Pa.s}) = -2682,1 T + 1,13 \times 10^6$	73,66%	0,0000

T = dia, onde $0 \leq T \leq 28$.

A porcentagem de variação explicada pelos modelos (R^2) para os parâmetros viscoelásticos (E_1 , E_2 , λrel_1 e η_1) são de 71,84%, 85,60%, 62,00% e 73,66% respectivamente. Dentre os modelos testados não houve ajuste satisfatório aos dados de E_0 , λrel_2 e η_2 para os queijos de coalho no período estudado.

Os modelos ajustados exibem boa correlação com os dados experimentais, e para todos os parâmetros viscoelásticos equações polinomiais de primeira ordem foram geradas. No entanto essas equações não possuem a capacidade preditiva dentro do intervalo estudado, pois são obtidas como médias para todos os queijos de coalhos para cada parâmetro. As mesmas são válidas para demonstrar o comportamento médio das variáveis com o tempo.

De maneira geral os módulos de elasticidade E_1 e E_2 e o coeficiente de viscosidade η_1 apresentam uma tendência à diminuição dos seus valores absolutos com o passar dos dias. Nesse caso a redução do módulo de elasticidade indica uma diminuição na tendência do material a recuperar sua forma original, quando uma tensão aplicada é removida. A diminuição do coeficiente de viscosidade indica uma menor resistência à deformação quando os queijos são submetidos a certa tensão, ou seja, os queijos requerem menor tensão para serem deformados. Portanto, com a diminuição do módulo de elasticidade e do coeficiente de viscosidade pode-se dizer que os queijos apresentaram-se mais macios, e menos elásticos ao final do armazenamento.

Essa tendência provavelmente pode ser explicada, de maneira que o comportamento viscoelástico de uma forma geral para queijos tende a acompanhar os desdobramentos sofridos pela caseína, através de um processo conhecido como proteólise em que as redes do complexo proteico são rompidas (resultando em peptídeos, e posteriormente aminoácidos) através de agentes enzimáticos adicionados na manufatura, e que continuam a atuar com o passar do tempo, resultando em uma tendência à diminuição da elasticidade.

Nas Figuras 19, 20, 21 e 22 estão apresentados os dados experimentais para as variáveis cujo ajuste supracitado foi possível.

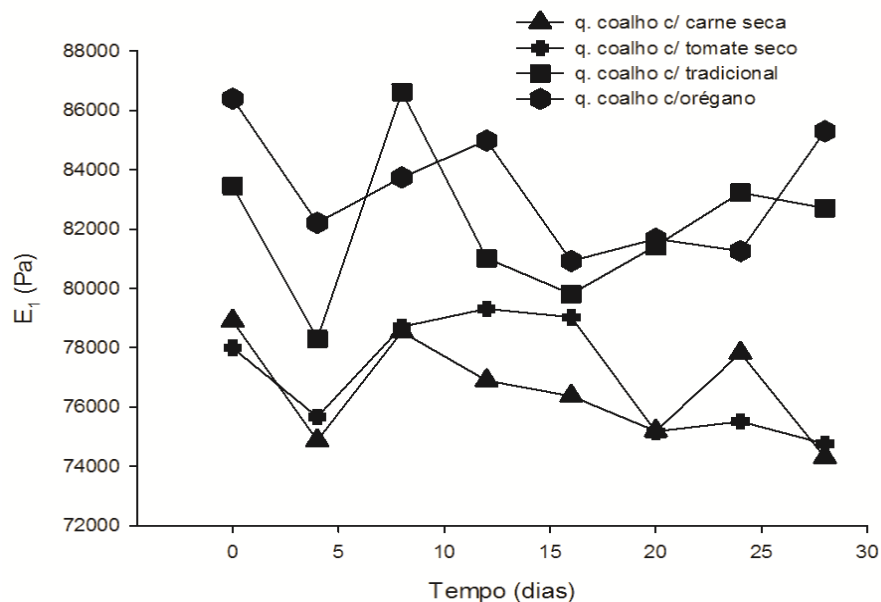


Figura 19 - Módulo de elasticidade do elemento de Maxwell com o menor tempo de relaxação (E_1) para os queijos de coalho tradicional, condimentado com orégano, adicionado de carne seca e adicionado de tomate seco em função do tempo de armazenamento sob refrigeração.

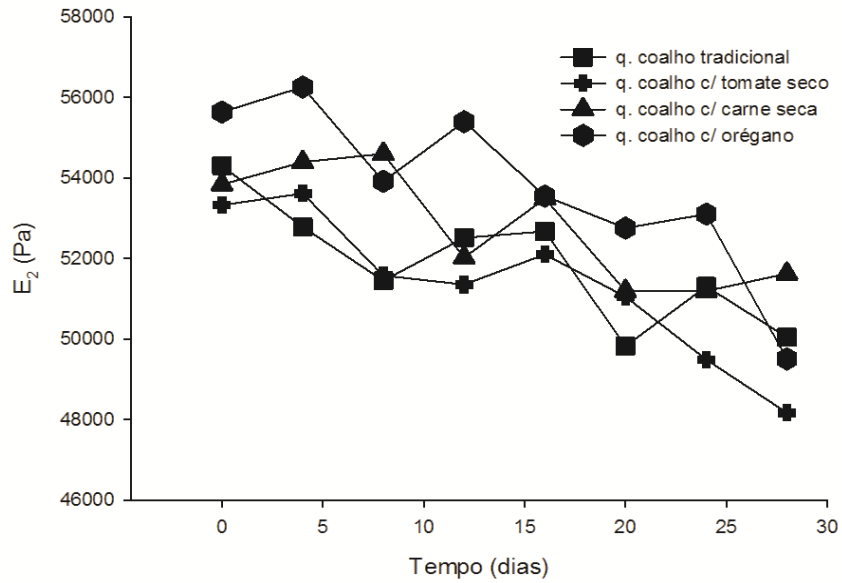


Figura 20 - Módulo de elasticidade do elemento de Maxwell com o maior tempo de relaxação (E_2) para os queijos de coalho tradicional, condimentado com orégano, adicionado de carne seca e adicionado de tomate seco em função do tempo de armazenamento sob refrigeração.

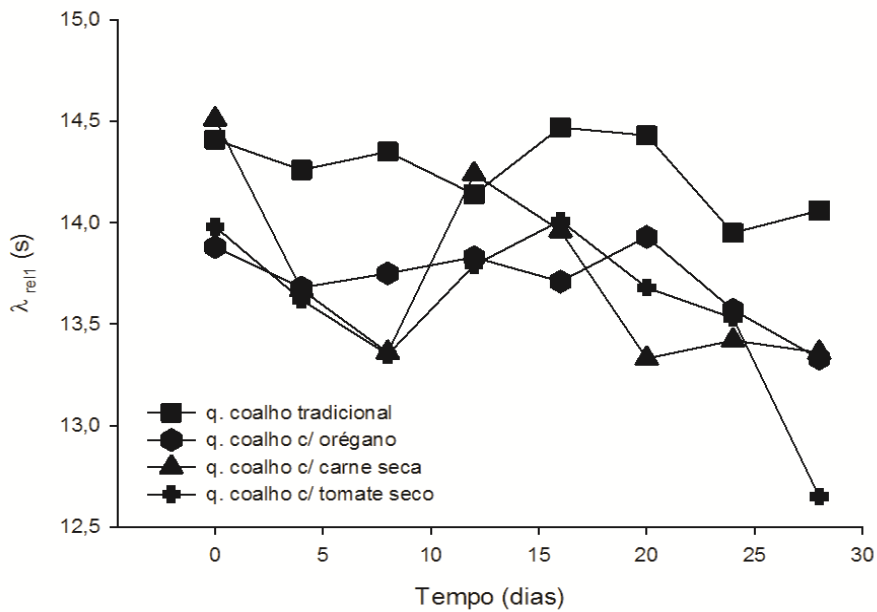


Figura 21 - Menor tempo de relaxação (λ_{rel1}) para os queijos de coalho tradicional, condimentado com orégano, adicionado de carne seca e adicionado de tomate seco em função do tempo de armazenamento sob refrigeração.

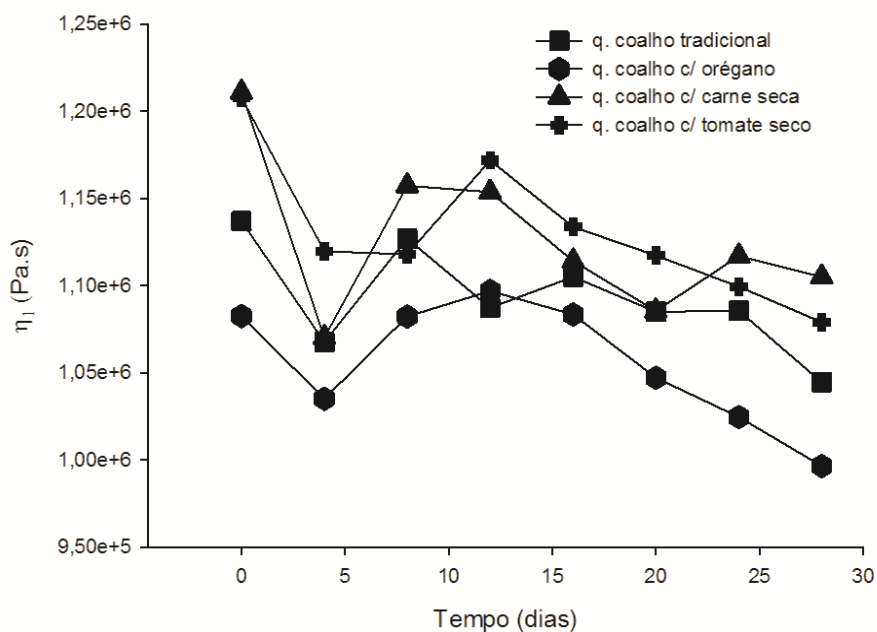


Figura 22 – Coeficiente de viscosidade do elemento de Maxwell com o menor tempo de relaxação (η_1) para os queijos de coalho tradicional, condimentado com orégano, adicionado de carne seca e adicionado de tomate seco em função do tempo de armazenamento sob refrigeração.

4.2.1.2 FUNÇÃO LINEAR (Modelo de Peleg)

O ajuste de dados experimentais ao modelo proposto por Peleg (1979) é uma maneira rápida e eficaz para lidar com dados de relaxação de tensão para muitos alimentos (STEFFE, 1996).

O modelo de Peleg (1979) apresentou boa correlação com as curvas experimentais obtidas para os queijos de coalho, demonstrado por altos valores dos coeficientes de determinações ($R^2 > 0,99$). O ajuste foi realizado por regressão linear onde foi utilizado o teste t de STUDENT para verificar a significância dos parâmetros do modelo (k_1 e k_2).

A Figura 23 mostra os dados linearizados para um ensaio de relaxação para os queijos de coalho. Nas Tabelas 8 e 9 são mostrados os valores médios dos parâmetros viscoelásticos do modelo linear.

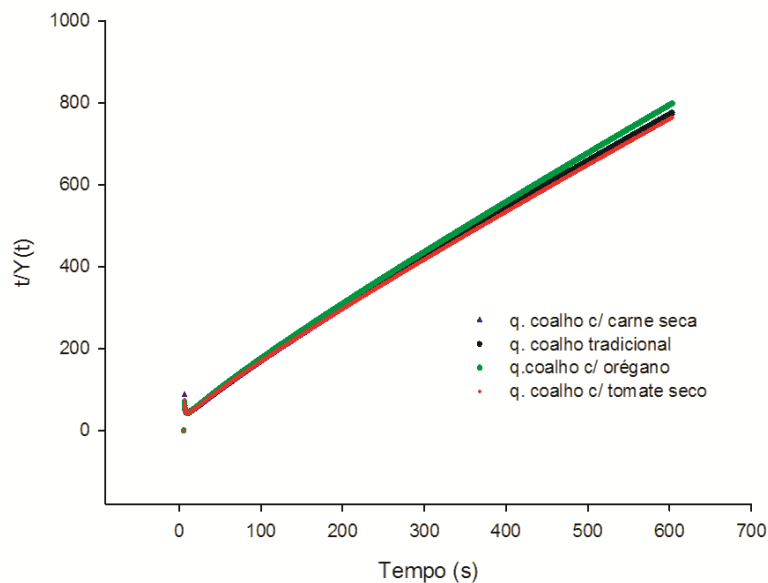


Figura 23 – Dados experimentais para um ensaio de relaxação, linearizados segundo Peleg (1979) obtidos para os queijos de coalho (4º Dia).

Os queijos de coalho apresentaram diferenças significativas ($p < 0,10$) para o parâmetro k_1 (Anexo III). Sendo o queijo de coalho tradicional e o condimentado com orégano, os que apresentaram maiores valores médios para esse parâmetro (Tabela 8).

O sentido físico do parâmetro k_1 é expresso pelo seu inverso, e representa a taxa de decaimento da tensão ($1/k_1$). No caso de sólidos viscoelásticos, quanto menor o valor de $1/k_1$ mais lenta é a relaxação da tensão. Ou seja, menores valores de $1/k_1$ sugerem um material mais rígido, que dissipe menos energia, e assim requer maior força para sua deformação (RODRÍGUEZ-SANDOVAL et al., 2009).

Nesse sentido, os queijos adicionados com carne seca e tomate seco foram menos rígidos (firmes), pois apresentaram menores valores para o parâmetro k_1 e, portanto possuem maiores taxas de decaimento ($1/k_1$). Esse resultado condiz com os encontrados para a dureza da análise do perfil de textura.

Em relação ao parâmetro k_2 , o teste F-ANOVA (Anexo III) revelou a existência de diferenças significativas ($p < 0,10$) para os queijos de coalho.

O inverso de k_2 representa o nível assintótico ao qual a tensão normalizada decai quando o tempo (da fase) de relaxação tende ao infinito. Nesse caso o valor de $1/k_2$ varia entre 0, para sólido puramente elástico (0% de relaxação), e 1, para líquido puramente viscoso (100% de relaxação).

Desta forma os queijos de coalho tradicional e condimentado com orégano foram os que apresentaram maiores valores para a variável k_2 , seguidos dos queijos de coalho adicionado de carne seca e tomate seco (Tabela 9). Demonstrando assim, que os primeiros possuem menor componente viscoso, e maior elasticidade do que os últimos.

Na Tabela 10 é apresentada uma equação ajustada através de regressão linear, que é útil para modelar o comportamento do parâmetro $1/k_2$ dos queijos de coalho em função do tempo de armazenamento sob refrigeração, cuja porcentagem de variação explicada (R^2) é de 98,81%. Para o parâmetro $1/k_1$ não houve ajuste satisfatório.

Assim, pode-se observar que houve uma diminuição dos valores de $1/k_2$ dos queijos de coalho em função do tempo, mostrando a tendência dos queijos serem menos elásticos com o armazenamento refrigerado.

Tabela 8 – Valores médios e desvios-padrão do parâmetro k_1 do modelo viscoelástico linear proposto por Peleg (1979).

Tempo	$k_1(s)$			
	Q.C.Normal	Q.C.Orégano	Q.C.Carne	Q.C.Tomate
0	50,69(±1,88)a	52,96(±1,97)a	49,71(±1,55)b	50,54(±5,25)b
4	54,85(±1,74)a	51,65(±3,16)a	50,15(±1,21)b	49,32(±2,73)b
8	52,03(±2,02)a	51,63(±3,61)a	48,96(±4,55)b	48,85(±2,81)b
12	52,16(±3,58)a	52,97(±5,17)a	52,31(±4,40)b	50,29(±3,37)b
16	55,43(±4,38)a	56,90(±4,49)a	51,63(±3,80)b	49,90(±4,05)b
20	51,88(±4,78)a	53,45(±4,65)a	48,48(±1,92)b	48,39(±6,20)b
24	55,31(±2,42)a	52,80(±2,88)a	47,89(±0,67)b	49,74(±5,78)b
28	53,00(±1,93)a	53,47(±5,11)a	49,14(±3,35)b	44,34(±8,49)b

a,b,c - Médias seguidas de diferentes letras minúsculas na mesma linha indicam as diferenças significativas ($p < 0,10$) entre os queijos de coalho para o parâmetro k_1 do modelo linear de Peleg (1979).

Tabela 9 – Valores médios e desvios-padrão do parâmetro k_2 do modelo viscoelástico linear proposto por Peleg (1979).

Tempo	k_2			
	Q.C.Normal	Q.C.Orégano	Q.C.Carne	Q.C.Tomate
0	1,22(±0,02)a	1,26(±0,05)a	1,22(±0,05)b	1,20(±0,03)b
4	1,27(±0,03)a	1,25(±0,05)a	1,22(±0,05)b	1,19(±0,03)b
8	1,27(±0,02)a	1,27(±0,04)a	1,23(±0,03)b	1,22(±0,03)b
12	1,26(±0,04)a	1,27(±0,07)a	1,27(±0,05)b	1,20(±0,03)b
16	1,28(±0,02)a	1,30(±0,05)a	1,24(±0,03)b	1,23(±0,05)b
20	1,29(±0,04)a	1,30(±0,06)a	1,25(±0,04)b	1,22(±0,04)b
24	1,29(±0,08)a	1,32(±0,1)a	1,25(±0,06)b	1,23(±0,03)b
28	1,30(±0,08)a	1,34(±0,07)a	1,25(±0,05)b	1,24(±0,08)b

a,b,c -Médias seguidas de diferentes letras minúsculas na mesma linha indicam as diferenças significativas ($p < 0,10$) entre os queijos de coalho para o parâmetro k_2 do modelo linear de Peleg (1979).

Tabela 10 - Modelo matemático para o parâmetro viscoelástico $1/k_2$ obtido do Modelo de Peleg (1979) para os queijos de coalho em função do tempo de armazenamento sob refrigeração.

Modelo	R^2	P
$1/k_2 = - 0,00196 T + 0,8155$	98,81%	0,0000

T = dia, onde $0 \leq T \leq 28$.

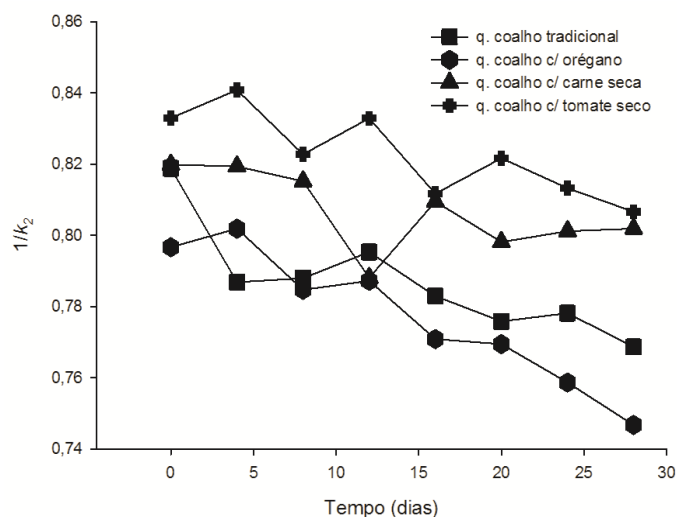


Figura 24 – Variação dos valores médios do parâmetro $1/k_2$ (inverso de k_2) do modelo viscoelástico linear proposto por Peleg (1979) para os queijos de coalho em função do tempo de armazenamento sob refrigeração.

4.2.2 FLUÊNCIA E RECUPERAÇÃO (CREEP-RECOVERY)

A fluência ocorre em um material submetido à tensão constante devido à movimentação de falhas, que sempre existem na estrutura de alguns materiais, agregadas ao escoamento.

Os dados obtidos nos testes de fluência foram ajustados ao modelo generalizado de Kelvin com $n=2$ (equação 28), através de regressão não linear. As curvas experimentais obtidas apresentaram boa correlação ($R^2 > 0,99$) e todos os parâmetros do modelo foram significativos ($p < 0,10$).

As curvas obtidas experimentalmente para os queijos de coalho são mostradas na Figura 25. A amplitude máxima no gráfico significa a deformação máxima alcançada para cada amostra quando submetidas à mesma tensão.

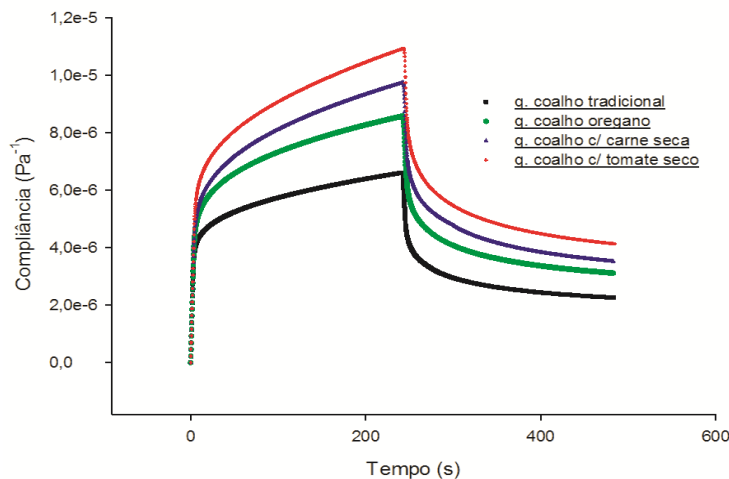


Figura 25 - Curvas de fluência e recuperação (creep-recovery) obtidas dos dados experimentais para os queijos de coalho (4º dia).

O efeito da inserção de orégano, tomate seco e carne seca na fabricação do queijo de coalho foi significativo ($p < 0,10$) para os parâmetros viscoelásticos D_2 , λ_{ret1} , e η . No entanto, os parâmetros D_0 , D_1 e λ_{ret2} não foram afetados para os quais $p > 0,10$.

A compliância retardada para o elemento do modelo de Kelvin com o maior tempo de retardação D_2 é útil para mostrar o quão rígido e coeso é um material. Pois é uma medida do inverso do módulo da elasticidade ($D_2 = 1/E_2$), e nesse caso foi o único parâmetro das compliâncias obtidas do modelo (Equação 28) a apresentar variação no ensaio de fluência. Assim, o queijo de coalho tradicional e o condimentado com orégano foram os que apresentaram os menores valores médios para o parâmetro D_2 (Tabela 11), sugerindo assim que as forças entre as ligações internas da matriz dos queijos são maiores e, portanto, são mais

resistentes à ruptura que os outros dois (adicionado com carne seca e tomate seco). Esses resultados são similares aos encontrados no ensaio de relaxação.

Tabela 11 - Valores dos parâmetros obtidos a partir do ajuste dos dados experimentais gerados no ensaio de fluência ao modelo generalizado de Kelvin com n=2.

Queijo Coalho	Tempo	D_0 (Pa ⁻¹)	D_1 (Pa ⁻¹)	D_2 (Pa ⁻¹)	λret_1 (s)	λret_2 (s)	η (Pa.s)	R ²
Tradicional	0	2,80E-15a	5,31E-06a	1,82E-06a	3,14a	44,4a	8,45E+07a	99,96
	4	3,23E-15a	4,23E-06a	1,10E-06a	3,08a	44,64a	1,85E+08a	99,86
	8	1,39E-17a	4,94E-06a	1,41E-06a	3,16a	46,94a	1,56E+08a	99,84
	12	2,98E-15a	4,55E-06a	1,52E-06a	2,88a	43,1a	1,27E+08a	99,93
	16	1,54E-17a	4,34E-06a	1,15E-06a	3,35a	44,64a	1,55E+08a	99,89
	20	1,81E-17a	4,57E-06a	1,36E-06a	3,11a	43,66a	1,37E+08a	99,86
	24	3,98E-15a	4,88E-06a	1,53E-06a	3,38a	46,29a	1,28E+08a	99,87
	28	2,40E-15a	4,22E-06a	1,37E-06a	2,98a	40,98a	1,43E+08a	99,83
Orégano	0	2,60E-17a	6,07E-06a	1,93E-06a	3,6a	52,91a	9,83E+07ab	99,91
	4	3,63E-15a	5,04E-06a	1,75E-06a	2,93a	45,87a	1,32E+08ab	99,89
	8	2,89E-15a	4,51E-06a	1,42E-06a	2,71a	43,85a	1,35E+08ab	99,91
	12	3,13E-15a	4,52E-06a	1,46E-06a	2,62a	43,29a	1,30E+08ab	99,9
	16	2,83E-15a	2,93E-06a	1,20E-06a	2,30a	40,81a	1,63E+08ab	99,89
	20	2,22E-15a	3,99E-06a	1,47E-06a	2,34a	40,65a	1,27E+08ab	99,94
	24	1,16E-17a	4,46E-06a	1,10E-06a	2,45a	43,29a	2,40E+08ab	99,77
	28	2,50E-15a	3,91E-06a	1,17E-06a	2,21a	40,65a	1,72E+08ab	99,9
Carne S.	0	3,62E-15a	5,42E-06a	2,26E-06b	3,24b	45,87a	8,06E+07b	99,94
	4	3,95E-15a	5,35E-06a	2,05E-06b	2,42b	47,17a	1,01E+08b	99,91
	8	2,70E-17a	5,53E-06a	1,96E-06b	2,78b	47,61a	1,05E+08b	99,87
	12	3,58E-15a	4,92E-06a	1,78E-06b	2,63b	44,05a	1,07E+08b	99,9
	16	3,87E-15a	5,48E-06a	2,24E-06b	2,95b	46,72a	9,68E+07b	99,92
	20	3,80E-15a	5,34E-06a	1,80E-06b	2,52b	46,94a	1,02E+08b	99,91
	24	1,73E-17a	5,75E-06a	2,06E-06b	2,75b	48,07a	9,71E+07b	99,9
	28	2,87E-15a	4,90E-06a	1,90E-06b	2,38b	43,1a	9,22E+07b	99,95
Tomate S.	0	2,64E-15a	6,17E-06a	1,80E-06b	4,76b	33,25a	2,93E+7b	99,94
	4	2,12E-17a	6,15E-06a	2,09E-06b	3,47b	36,9a	8,93E+7b	99,87
	8	2,73E-17a	5,66E-06a	1,88E-06b	3,25b	47,84a	9,23E+7b	99,89
	12	3,31E-15a	5,23E-06a	2,05E-06b	3,24b	45a	8,00 E+7b	99,95
	16	3,44E-15a	4,98E-06a	1,70E-06b	3,07b	45,87a	8,63 E+7b	99,93
	20	3,16E-15a	5,02E-06a	1,81E-06b	3,00b	44,84a	8,26 E+7b	99,95
	24	2,68E-15a	4,86E-06a	1,59E-06b	3,02b	45,04a	1,02E+8b	99,95
	28	4,44E-15a	5,67E-06a	2,15E-06b	3,25b	45,66a	8,25E+7b	99,91

a,b,c - Médias seguidas de diferentes letras minúsculas na mesma coluna indicam as diferenças significativas ($p < 0,10$) entre os queijos de coalho para cada parâmetro do modelo generalizado de kelvin n=2.

O tempo de retardo é o tempo requerido para o material atingir a deformação máxima a uma dada tensão. Nesse caso apenas o menor tempo de retardação λ_{ret1} foi afetado. Em que o queijo de coalho adicionado de tomate seco e o adicionando carne seca apresentaram os menores valores médios, demonstrando assim que são os que mais rapidamente atingiram a transição entre o comportamento elástico e viscoso. Além disso, apresentaram também menor valor para o coeficiente de viscosidade newtoniana η .

O maior tempo de retardação do modelo (λ_{ret2}) não apresentou variação entre os queijos de coalho, presumidamente em função da razão entre os coeficientes de viscosidades η_2 e os módulos de elasticidade do elemento 2 ($E_2 = 1/D_2$) serem constantes para todos os queijos.

No geral, maiores valores para D_2 , e menores valores para λ_{ret1} , e η indicam maior facilidade de deformação, pois provavelmente esses materiais irão apresentar estruturas internas mais frágeis.

Na Tabela 12 são mostradas as equações matemáticas ajustadas para modelar o comportamento dos parâmetros do modelo generalizado de Kelvin (n=2) para os queijos de coalho em função do tempo de armazenamento sob refrigeração.

Tabela 12 - Modelos matemáticos para os parâmetros viscoelásticos D_2 e λ_{ret1} obtidos do modelo generalizado de Kelvin (n=2) para os queijos de coalho em função do tempo de armazenamento sob refrigeração.

Modelo	R²	P
D_2 (Pa ⁻¹) = - 1,26x10 ⁻⁸ T + 2,7x10 ⁻⁶	63,63%	0,0063
λ_{ret1} (s) = - 0, 01568 T + 3,08	73,95	0,0168

T = dia, onde $0 \leq T \leq 28$.

Equações polinomiais de primeira ordem explicam satisfatoriamente (ajuste aos dados experimentais) a variação dos parâmetros D_2 e λ_{ret1} para os queijos de coalho em função do tempo no intervalo estudado, cujos coeficientes de determinações são 63,63% e 73,95% respectivamente. Esta modelagem (Tabela 12) evidencia uma tendência no decréscimo dos valores absolutos desses parâmetros com o tempo de armazenamento refrigerado, essa variação é ilustrada nas Figuras 26 e 27.

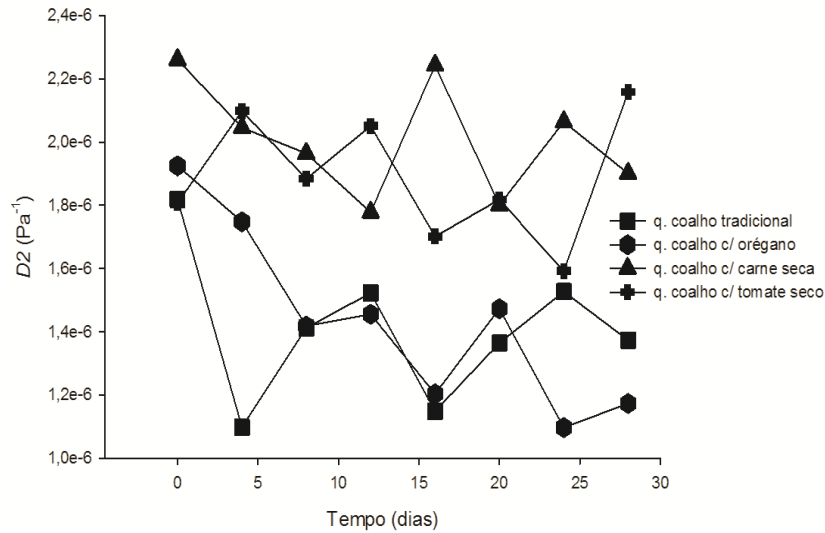


Figura 26 – Compliância retardada (D_2) do modelo de Kelvin para os queijos de coalho em função do tempo de armazenamento refrigerado.

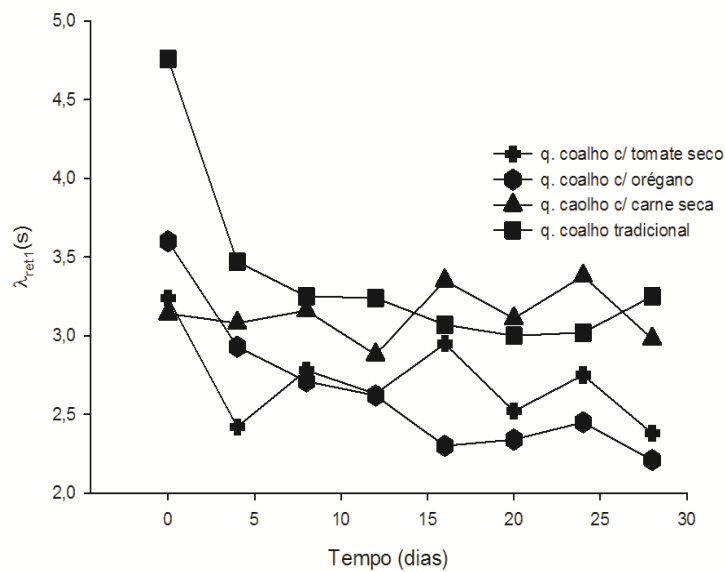


Figura 27 – Tempo de retardação λ_{ret1} para os queijos de coalho em função do tempo de armazenamento sob refrigeração.

Assim, os queijos de coalho tendem a se apresentarem mais frágeis e com um aspecto menos elástico. Possivelmente por um desdobramento contínuo das estruturas de composição inicialmente compactas, e que mediante processos bioquímicos primários e secundários conferem ao sistema final menor flexibilidade.

Além do mais, de maneira geral em função do tempo, os queijos mostraram o mesmo comportamento em relação aos parâmetros viscoelásticos independente de ser adicionado de orégano, carne seca, ou tomate seco.

Portanto, pode-se dizer que essa pesquisa também pode contribuir com informações referentes ao controle de qualidade tecnológica, uma vez que foi informado ao fabricante as condições das amostras iniciais utilizadas nos ensaios preliminares, e que essas requeriam necessidade na padronização quanto à forma, tamanho e todas as variáveis do processo produtivo do produto lácteo.

Além de tudo, é provável que se a adição de tomate seco, e carne seca à fabricação do queijo de coalho se derem em pequena escala, ou até mesmo com menor tamanho de partículas (carne seca e tomate seco), o queijo não sofrerá alterações tão significativas nos parâmetros mecânicos e reológicos, como pôde ser observado na adição do condimento orégano.

5. CONCLUSÕES

Os resultados da análise do perfil de textura instrumental e dos ensaios de relaxação e fluência permitiram conhecer o comportamento mecânico e reológico dos queijos de coalho e o efeito da adição de orégano, carne seca e tomate seco quando armazenados sob refrigeração durante 28 dias.

A partir do presente estudo pode-se inferir que os queijos de coalho tradicional e adicionado de orégano avaliados, se mostraram mais duros (firmes), coesos e conseqüentemente mais elásticos e ainda de maior resistência à mastigação do que os queijos de coalhos adicionados de carne seca e tomate seco.

De maneira geral houve uma tendência à diminuição da elasticidade, viscosidade, e módulo da elasticidade dos queijos de coalho durante o período de armazenamento refrigerado, resultando em queijos mais macios.

É possível que uma diminuição na quantidade e ainda no tamanho do tomate seco, e da carne seca adicionada ao queijo de coalho acarrete menores alterações mecânicas e reológicas.

6. SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS

Estudos subsequentes poderão avaliar o comportamento mecânico durante todo o período de validade do queijo de coalho corroborando com os resultados do presente experimento, além da avaliação de queijos oriundos de laticínios diferentes. Outra possibilidade seria a produção dos queijos para a realização das mesmas análises, ao invés de adquiri-los diretamente nos laticínios. Isto poderia permitir um maior controle do processo de produção.

Além disso, uma possível sugestão de continuidade do presente trabalho seria a avaliação dos queijos de coalho por microscopia de luz de varredura objetivando a verificação destes resultados com os obtidos por meio das análises instrumentais.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, A.A.; RODRIGUES, M.C.P.; NASSU, R. T.; SOUZA NETO, M.A. Medidas instrumentais de cor e textura em queijo de coalho. **In: Anais. XV ENAAL Congresso Latino Americano de Analistas de Alimentos.** Fortaleza, 2007.

ANDRÁS, S.C.; ZARITZKY, N.E.; CALIFANO, A.N. Stress relaxation characteristics of low-fat chicken sausages made in Argentina. **Meat Science**, v. 79, n. 3, p. 589-594, 2008.

ANJO, V.D.A. Reologia de requeijão cremoso e outros queijos fundidos. In: VAN DENDER, A. G. F. et al. **Requeijão Cremoso e Outros Queijos Fundidos: Aspectos de Qualidade, Processamento, Rotulagem, Legislação e Mercado.** Seminário ITAL/TECNOLAT, Campinas, cap.12, 2000.

AK, M.M; GUNASEKARAN, S. Stress-strain curve analysis of Cheddar cheese by uniaxial compression. **Journal of Food Science**, v. 57, n.5, p.1078-1081, 1992.

BOURNE, M. **Food Texture and Viscosity: Concept and Measurement.** 2nd ed. San Diego: Academic Press, 2002.415p.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 30, de 26 de Junho de 2001. Aprova os Regulamentos Técnicos de Identidade e Qualidade de Manteiga da Terra ou Manteiga de Garrafa; Queijo de Coalho e Queijo de Manteiga. **Diário Oficial da União**, Brasília, 16/07/2001, Seção 1, p.13-15.

BRASIL. Ministério da Agricultura, do Abastecimento e da Reforma Agrária. Portaria nº 146, de 07 de Março de 1996. Aprovam os Regulamentos Técnicos de Identidade e Qualidade dos Produtos Lácteos. **Diário Oficial da União**, Brasília 11/03/1996, Of. nº 48/96.

BRYANT, A.; USTUNOL, Z; STEFFE, J. Texture of Cheddar cheese as influenced by fat reduction. **Journal of Food Science**, v.60, n. 6, p. 1216-1221, 1995.

BUZATO, R.M.P. **Influência da relação caseína/gordura do leite e da temperatura de cozimento da massa no rendimento de fabricação e nas propriedades físico-químicas, funcionais e sensoriais do queijo de coalho.** Campinas, 2011. 249p. Tese (Doutorado em Tecnologia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas. 2011.

CAVALCANTE, J.F.M; SILVA, R.F.N; ANDRADE, N.J; FURTADO, M.M.; CECON, P.R. Queijo de coalho produzido com “pool” de culturas lácticas isoladas de leite cru da região do vale do Jaguaribe, Ceará, Brasil. **Revista do Instituto de Laticínios “Candido Tostes”**, v.59, n. 339, 2004.

CUNHA, C.R. **Efeito do uso de retentados de baixo fator de concentração no rendimento, proteólise e propriedades viscoelásticas de queijo Minas Frescal de reduzido teor de gordura.** Campinas, 2002. 118p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas. 2002.

CHUNG, W.K.; MEULLENET, J.F. Prediction of cheese texture attribute by fundamental rheological analyses using a stress controlled dynamic rheometer. **In: IFT Annual Meeting**, New Orleans, 2001.

DOZDROV, A.D. **Finite elasticity and viscoelasticity: a course in the nonlinear mechanics of solids**, Massachusettes, Word scientific publishing Co. Pte.Ltd, 1996, 150p.

EPAMIG. EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA DE MINAS GERAIS. **Os queijos na fazenda**. Coleção do Agricultor. 3.ed.São Paulo: Globo, 1989– Laticínios, 219p.

FARIA, J.T. **Caracterização reológica e estrutural de géis ácidos das proteínas α -lactoalbumina, β -lactoglobulina e glicomacropéptídeo**. Viçosa, 2011. 115p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2011.

FOEGEDING E.A.; DRAKE, M.A. Invited Review: Sensory and Mechanical Properties of Cheese Texture. **Journal of Dairy Science**, v. 90, n. 4, p.1611-1624, 2007.

FOGAÇA, D.N.L.; SILVA, W.S.; SANTOS JUNIOR, H.C.M.; RODRIGUES, L.B. Avaliação do efeito do armazenamento refrigerado sobre o perfil de textura de queijo de coalho condimentado com tomate seco. **Caderno de Ciências Agrárias**, v. 4, n. 13, p. 133-137, 2012.

FOX, P.F.; GUINEE, T.P.; COGAN, T.M.; McSWEENEY, P.L.H. **Fundamentals of Cheese Science**. Maryland: Ed. Aspen Publication, 2000, 587 p.

FOX, P.F.; COGAN, T.M. Factors that affect the quality of cheese. In: FOX,P.F; MCSWEENEY, P.L.H.; COGAN,T.M. **Cheese: Chemistry, Physics and Microbiology**. v. 2. Major Groups. 3nd.ed. London: Elsevier Ltd., 2004, p.583-608.

FOX, P.F; GUINEE,T.P.;COGAN,T.M.;MCSWEENEY,P.L.H. Cheese Rheology and Texture. In: FOX, P. F.; GUINEE, T. P.; COGAN, T. M.; McSWEENEY, P. L. H. **Fundamentals of Cheese Science**. Gaithersburg: Aspen, 1998. p.305-340.

GEISE, J. Developments in beverage additives. **Food Technology**, v. 49, n.9, p. 64-72, 1995.

GUNASEKARAN, S.; AK, M.M. **Cheese Rheology and Texture**. CRC Press LLC, Florida, 2003, 637p.

HALMOS, A.L.; POLLARD, A.; FRANK, S. Natural cheddar cheese texture variation as a result of milk seasonality. **Journal of Texture Studies**, v.34, n. 1, p.21-40, 2003.

KONSTANCE, R.P.;HOLSINGER, V.H. Developments of rheological test methods for cheese. **Food Technology**, v.1, n.2, p.105-109, 1992.

LEWICKI, P.P.; SPIESS, W.E.L. Rheological Properties of Raisins Part I. Compression Test. **Journal of Food Engineering**, v. 24, n.3, p.321-338, 1995.

LUCEY, J.A.; JOHNSON, M.E.; HORNE, D.S. Invited review: Perspectives on the basis of the rheology and texture properties of cheese. **Journal of Dairy Science**, v.86, n.9, p.2725-2743, 2003.

MOHSENIN, N.N. Rheology and Texture of food materials. In: **Physical Properties of Plant and Animal Materials**, 2nd.ed., New York: Gordon and Breach Science Publishers, 1986. p. 383-479.

PELEG, M. The basics of solid foods rheology. In: MOSKOWITZ, P. (Ed.). **Food Texture**. New York: Marcel Dekker Inc., 1987. p.3-33.

PELEG, M. Characterization of the stress relaxation curves of solid foods. **Journal of Food Science**, v. 44, n. 1, p. 277-281, 1979.

PELEG, M. Linearization of Relaxation and Creep Curves of Solid Biological Materials. **Journal of Rheology**, v.24, n. 4, p. 451-463, 1980

PIRES, E.F., MORAIS, C.M.M., SILVA, J.A., CARVALHO, R.O.C. **Queijo de Coalho – Perfil industrial**. Recife: SEBRAE/PE, v.1, p.44, 1994.

PONS, M.; FISZMAN, S.M. Instrumental texture profile analysis with particular reference to gelled systems. **Journal of Texture Studies**, v. 27, n.6, p. 597-624, 1996.

PRETINCE, J.H; LANGLEY, K.; MARSHALL, R.J. Cheese Rheology. In: FOX, P.F. (Ed.) **Cheese: Chemistry, Physics and Microbiology**. London: Chapman & Hall, 1993, v.1, cap.8, p.303-340.

QUEIROGA, R.C.R.E.; GUERRA, I.C.D.; OLIVEIRA, C.E.V.; OLIVEIRA, M.E.G.; SOUZA, E.L. Elaboração e caracterização físico-química, microbiológica e sensorial de queijo “tipo minas frescal” de leite de cabra condimentado. **Revista de Ciências Agrônomicas**, v.40, n.3, p.363-372, 2009.

RAO, V.N.M. Classification, description and measurement of viscoelastic properties of solid foods. In: RAO, M.A.; STEFFE, J.F. (Ed.) **Viscoelastic Properties of Solid foods**. London, New York: Elsevier Applied Science, 1992. Cap.1, p.3-47.

RODRÍGUEZ-SANDOVAL, E.; FERNÁNDEZ-QUINTERO, A.; CUVELIER, G. Stress relaxation of reconstituted cassava dough. **LWT - Food Science and Technology**, v. 42, n. 1, p. 202-206, 2009.

SANTOS, J.P.L. **Análise de modelos reológicos viscoelásticos através de formulações mistas em elementos finitos**. Rio de Janeiro, 2008. 135p. Dissertação (Mestre em Ciências em Engenharia Civil) – Coordenação dos Programas de Pós-Graduação de Engenharia – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2008.

SANTOS JÚNIOR, H.C.M.; SILVA, W.S.; FOGACA, D.N.L.; RODRIGUES, L.B. Análise do perfil de textura de queijos de coalho condimentado com carne seca durante o tempo de armazenagem sob refrigeração. **Caderno de Ciências Agrárias**, v. 4, n.13, p. 117-122, 2012.

SAS SYSTEM. Statistical Analysis System, versão 9e. The SAS Institute, Cary, N.C.

SEBRAE - Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas. **Queijos nacionais: Estudos de Mercado** Sebrae/ESPM 2008 – Relatório completo, 2008, 149 p.

SEBRAE. **Projeto melhoria da qualidade do queijo de coalho produzido no Ceará.** Fortaleza: SEBRAE/CE- Relatório completo, 1998, 208p.

SHOEMAKER, C.F.; NANTZ, J.; BONNANS, S.; NOBLE, A.C. Rheological characterization of dairy products. **Food Technology**, v. 46, n. 1, p. 98-104. 1992.

SIGMAPLOT, For windows. Version 11.0. Copyright©, Systat Software, 2008.

SOZER, N.; KAYA, A.; DALGIC, A.C. The effect of resistant starch addition on viscoelastic properties of cooked spaghetti. **Journal of Texture Studies**, v. 39, n. 1, p. 1-16, 2008.

STEFFE, J.F. **Rheological Methods in Food Process Engineering**, Freeman Press, 2nd. ed. East Lansing, 1996. 418p.

SZCZESNIAK, A.S. Texture is a sensory property. **Food Quality and Preference**, Elsevier, v. 13, p. 215-225, 2002.

SZCZESNIAK, A.S. Texture Profile Analysis- Methodology interpretation clarified, **Journal Food Science**, v. 60, n.6, p. vii, 1995.

TUNICK, M.H; MALIN, E.L.; SMITH, P.W.; SHIEH, J.J.; SULLIVAN, B.C.; MACKEY, K.L.; HOLSINGER, V.H. Proteolysis and rheology of low fat and full fat Mozzarella cheeses prepared from homogenized milk. **Journal of Dairy Science**, v.76, n.12, p. 3621–3628, 1993.

VALLE, J.L.E; CAMPOS, S.D.S; YOTSUYANAGI, K; SOUZA, G. Influência do teor de gordura nas propriedades funcionais do queijo tipo mozzarella. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.24, n.4, p.669-673, 2004.

WIUM, H.; GROSS, M.; QVIST, K.B. Uniaxial compression of UF-Feta cheese related to sensory texture analysis. **Journal of Texture Studies**, v.28, n.4, p.455–476, 1997.

ANEXO I – Quadros de ANOVA para dureza, mastigabilidade, elasticidade e coesividade respectivamente dos queijos de coalho durante o tempo de armazenamento refrigerado (dias 0, 4, 8, 12, 16, 20, 24 e 28).

Fonte de Variação	Graus de Liberdade	Soma de Quadrados	Quadrados Médios	F. Calculado	Probabilidade
Tratamento (QC)	3	19767,31	6589,10	28,04	0,0000
Tempo	7	2751,07	393,01	1,67	0,1323
Rep	2	6626,53	3313,27	14,10	0,0000
Tratamento x Tempo	21	3067,58	146,08	0,62	0,8867
Erro	62	14566,93	234,95		
Total Corrigido	95	46779,42			
Coefficiente de Variação (%)	16,09		DUREZA		

Fonte de Variação	Graus de Liberdade	Soma de Quadrados	Quadrados Médios	F. Calculado	Probabilidade
Tratamento (QC)	3	11785,36	3928,45	33,12	0,0000
Tempo	7	835,67	119,38	1,01	0,4355
Rep	2	10106,08	5053,04	42,60	0,0000
Tratamento*Tempo	21	845,84	40,28	0,34	0,9961
Erro	62	7353,54	118,61		
Total Corrigido	95	30926,49			
Coefficiente de Variação (%)	21,09		MASTIGABILIDADE		

Fonte de Variação	Graus de Liberdade	Soma de Quadrados	Quadrados Médios	F. Calculado	Probabilidade
Tratamento (QC)	3	0,01465	0,004883	21,447	0,0000
Tempo	7	0,000867	0,000124	0,544	0,7978
Rep	2	0,002682	0,001341	5,889	0,0046
Tratamento x Tempo	21	0,001496	0,000071	0,313	0,9978
Erro	62	0,014117	0,000228		
Total Corrigido	95	0,033812			
Coefficiente de Variação (%)	1,76		ELASTICIDADE		

Fonte de Variação	Graus de Liberdade	Soma de Quadrados	Quadrados Médios	F. Calculado	Probabilidade
Tratamento (QC)	3	0,2267	0,07557	19,489	0,0000
Tempo	7	0,0217	0,00310	0,800	0,5912
Rep	2	0,8976	0,44880	115,747	0,0000
Tratamento x Tempo	21	0,0193	0,00092	0,237	0,9997
Erro	62	0,2404	0,00388		
Total Corrigido	95	1,4057			
Coefficiente de Variação (%)	10,14		COESIVIDADE		

ANEXO II - Quadros de Análise de variância (ANOVA) para E_0 , E_1 , E_2 , λrel_1 , λrel_2 , η_1 e η_2 dos queijos de coalho durante o tempo de armazenamento refrigerado (dias 0, 4, 8, 12, 16, 20, 24 e 28).

Módulo de equilíbrio E_0 .

Fonte de Variação	Graus de Liberdade	Soma de Quadrados	Quadrados Médios	F. Calculado	Probabilidade
Tratamento (QC)	3	6,52E+08	2,17E+08	16,736	0,0000
Tempo	7	3,46E+08	4,95E+07	3,808	0,0017
Rep	2	7,00E+08	3,50E+08	26,943	0,0000
Tratamento x Tempo	21	8,01E+07	3,81E+06	0,293	0,9986
Erro	62	8,06E+08	1,30E+07		
Total Corrigido	95	2,58E+09			
Coefficiente de Variação (%)	9,74				

Módulo de elasticidade do elemento de Maxwell n° 1 (E_1).

Fonte de Variação	Graus de Liberdade	Soma de Quadrados	Quadrados Médios	F. Calculado	Probabilidade
Tratamento (QC)	3	5,09E+08	1,70E+08	16,198	0,0000
Tempo	7	1,28E+08	1,82E+07	1,739	0,1164
Rep	2	6,26E+08	3,13E+08	29,836	0,0000
Tratamento x Tempo	21	1,91E+08	9,12E+06	0,870	0,6273
Erro	62	6,50E+08	1,05E+07		
Total Corrigido	95	2,10E+09			
Coefficiente de Variação (%)	4,11				

Módulo de elasticidade do elemento de Maxwell n° (E_2).

Fonte de Variação	Graus de Liberdade	Soma de Quadrados	Quadrados Médios	F. Calculado	Probabilidade
Tratamento (QC)	3	7,80E+07	2,60E+07	3,941	0,0122
Tempo	7	2,49E+08	3,55E+07	5,378	0,0001
Rep	2	3,00E+07	1,50E+07	2,274	0,1114
Tratamento x Tempo	21	3,82E+07	1,82E+06	0,276	0,9991
Erro	62	4,09E+08	6,60E+06		
Total Corrigido	95	8,04E+08			
Coefficiente de Variação (%)	4,9				

Tempo de relaxação do elemento de Maxwell nº 1 (λrel_1).

Fonte de Variação	Graus de Liberdade	Soma de Quadrados	Quadrados Médios	F. Calculado	Probabilidade
Tratamento (QC)	3	6,66	2,22	6,642	0,0006
Tempo	7	4,36	0,62	1,863	0,0911
Rep	2	0,38	0,19	0,576	0,5651
Tratamento x Tempo	21	3,91	0,19	0,557	0,9316
Erro	62	20,71	0,33		
Total Corrigido	95	36,02			
Coefficiente de Variação (%)	4,17				

Tempo de relaxação do elemento de Maxwell nº 2 (λrel_2).

Fonte de Variação	Graus de Liberdade	Soma de Quadrados	Quadrados Médios	F. Calculado	Probabilidade
Tratamento (QC)	3	5234,68	1744,89	0,334	0,8003
Tempo	7	22427,66	3203,95	0,614	0,7421
Rep	2	8487,77	4243,89	0,814	0,4480
Tratamento x Tempo	21	137472,60	6546,31	1,255	0,2413
Erro	62	323422,27	5216,49		
Total Corrigido	95	497044,98			
Coefficiente de Variação (%)	18,93				

Coefficiente de viscosidade do elemento de Maxwell nº 1 (η_1).

Fonte de Variação	Graus de Liberdade	Soma de Quadrados	Quadrados Médios	F. Calculado	Probabilidade
Tratamento (QC)	3	6,09E+10	2,03E+10	10,288	0,0000
Tempo	7	7,87E+10	1,12E+10	5,701	0,0000
Rep	2	1,35E+11	6,73E+10	34,081	0,0000
Tratamento x Tempo	21	2,14E+10	1,02E+09	0,516	0,9533
Erro	62	1,22E+11	1,97E+09		
Total Corrigido	95	4,18E+11			
Coefficiente de Variação (%)	4,17				

Coefficiente de viscosidade do elemento de Maxwell nº 2 (η_2).

Fonte de Variação	Graus de Liberdade	Soma de Quadrados	Quadrados Médios	F. Calculado	Probabilidade
Tratamento (QC)	3	3,04E+12	1,01E+12	1,567	0,2063
Tempo	7	9,59E+12	1,37E+12	2,117	0,0547
Rep	2	1,22E+12	6,11E+11	0,944	0,3945
Tratamento x Tempo	21	7,06E+12	3,36E+11	0,520	0,9515
Erro	62	4,01E+13	6,47E+11		
Total Corrigido	95	6,10E+13			
Coefficiente de Variação (%)	7,62				

ANEXO III - Análise de variância (ANOVA) para os parâmetros k_1 e k_2 do modelo linearizado (Peleg) para as curvas de relaxação.

Fonte de Variação	Graus de Liberdade	Soma de Quadrados	Quadrados Médios	F. Calculado	Probabilidade
Tratamento	3	363,9842	121,3281	11,794	0,0000
Tempo	7	100,7400	14,3914	1,399	0,2219
Rep	2	525,0062	262,5031	25,517	0,0000
Tratamento x Tempo	21	155,5755	7,4084	0,720	0,7964
erro	62	637,8128	10,2873		
Total Corrigido	95	1783,1187			
Coefficiente de Variação (%)	6,26				

Fonte de Variação	Graus de Liberdade	Soma de Quadrados	Quadrados Médios	F. Calculado	Probabilidade
Tratamento	3	0,0746	0,0249	17,771	0,0000
Tempo	7	0,0316	0,0045	3,224	0,0055
Rep	2	0,0767	0,0384	27,400	0,0000
Tratamento x Tempo	21	0,0145	0,0007	0,493	0,9625
erro	62	0,0868	0,0014		
Total Corrigido	95	0,2843			
Coefficiente de Variação (%)	2,99				

ANEXO IV - Quadros de Análise de variância (ANOVA) para os parâmetros D_0 , D_1 , D_2 , λ_{ret_1} , λ_{ret_2} , η respectivamente obtido do modelo generalizado de Kelvin (n=2) para queijos de coalho durante o tempo de armazenamento refrigerado (dias 0, 4, 8, 12, 16, 20, 24 e 28).

Compliança instantânea (D_0).

Fonte de Variação	Graus de Liberdade	Soma de Quadrados	Quadrados Médios	F. Calculado	Probabilidade
Tratamento	3	6,66E-29	2,22E-29	1,652	0,1861
Tempo	7	1,14E-28	1,62E-29	1,209	0,3115
Rep	2	4,06E-29	2,03E-29	1,510	0,2281
Tratamento*Tempo	21	2,86E-28	1,36E-29	1,013	0,4610
Erro	62	8,33E-28	1,34E-29		
Total Corrigido	95	1,34E-27			
Coefficiente de Variação (%)	17,0				

Compliança do elemento de Kelvin com menor tempo de retardação (D_1).

Fonte de Variação	Graus de Liberdade	Soma de Quadrados	Quadrados Médios	F. Calculado	Probabilidade
Tratamento	3	9,35E-09	3,12E-09	0,959	0,4178
Tempo	7	2,25E-08	3,21E-09	0,988	0,4482
Rep	2	6,55E-09	3,28E-09	1,009	0,3704
Tratamento*Tempo	21	6,86E-08	3,27E-09	1,006	0,4699
Erro	62	2,01E-07	3,25E-09		
Total Corrigido	95	3,08E-07			
Coefficiente de Variação (%)	23,0				

Compliança do elemento de Kelvin com maior tempo de retardação (D_2).

Fonte de Variação	Graus de Liberdade	Soma de Quadrados	Quadrados Médios	F. Calculado	Probabilidade
Tratamento	3	7,47E-12	2,49E-12	15,258	0,0000
Tempo	7	2,05E-12	2,93E-13	1,794	0,1038
Rep	2	3,64E-12	1,82E-12	11,150	0,0001
Tratamento*Tempo	21	2,61E-12	1,24E-13	0,761	0,7516
Erro	62	1,01E-11	1,63E-13		
Total Corrigido	95	2,59E-11			
Coefficiente de Variação (%)	23,89				

Tempo de retardação λ_{ret_1}

Fonte de Variação	Graus de Liberdade	Soma de Quadrados	Quadrados Médios	F. Calculado	Probabilidade
Tratamento	3	7,5221	2,5074	7,505	0,0002
Tempo	7	2,7264	0,3895	1,166	0,3354
Rep	2	0,5359	0,2680	0,802	0,4530
Tratamento x Tempo	21	3,4807	0,1657	0,496	0,9619
Erro	62	20,7146	0,3341		
Total Corrigido	95	34,9797			
Coefficiente de Variação (%)	20,15				

Tempo de retardação λ_{ret_2}

Fonte de Variação	Graus de Liberdade	Soma de Quadrados	Quadrados Médios	F. Calculado	Probabilidade
Tratamento	3	4,2405	1,4135	0,018	0,9975
Tempo	7	217,6805	31,0972	0,393	0,9030
Rep	2	11,4543	5,7272	0,072	0,9303
Tratamento x Tempo	21	2028,3769	96,5894	1,221	0,2668
Erro	62	4905,6999	79,1242		
Total Corrigido	95	7167,4521			
Coefficiente de Variação (%)	19,96				

Coefficiente de viscosidade newtoniana (η).

Fonte de Variação	Graus de Liberdade	Soma de Quadrados	Quadrados Médios	F. Calculado	Probabilidade
Tratamento	3	2,71E+17	9,02E+16	6,469	0,0007
Tempo	7	9,85E+16	1,41E+16	1,009	0,4338
Rep	2	3,42E+16	1,71E+16	1,227	0,3003
Tratamento x Tempo	21	2,59E+17	1,23E+16	0,885	0,6089
Erro	62	8,64E+17	1,39E+16		
Total Corrigido	95	1,53E+18			
Coefficiente de Variação (%)	20,15				