



INSTITUTO DE TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

Tecnolab

RENATO ALVES PEREIRA

**ELABORAÇÃO E ESTUDO DE COMPORTAMENTO DE FORMULAÇÕES DE
"BEBIDAS LÁCTEAS" COM FIBRAS POTENCIALMENTE PREBIÓTICAS**

CAMPINAS

2024

RENATO ALVES PEREIRA

**ELABORAÇÃO E ESTUDO DE COMPORTAMENTO DE FORMULAÇÕES DE
"BEBIDAS LÁCTEAS" COM FIBRAS POTENCIALMENTE PREBIÓTICAS**

*Dissertação apresentada ao Instituto de
Tecnologia de Alimentos para obtenção do título de
Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos.*

Aluno: Renato Alves Pereira

Orientador: Dra. Maria Isabel Berto

Co-orientador: Dra. Patrícia Blumer Zacarchenco

Rodrigues de Sá

Este exemplar corresponde à versão final da Dissertação defendida pelo aluno Renato Alves Pereira e orientada pelo Prof.(a) Dr.(a) Maria Isabel Berto.

CAMPINAS

2024

Agência(s): O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001

Nº do proc.:

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA DO ITAL

P436e **Pereira, Renato Alves**

Elaboração e estudo de comportamento de formulações de “bebidas lácteas” com fibras potencialmente prebióticas. / **Renato Alves Pereira**. Dissertação de Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos. Campinas, SP: Ital, 2023.

170 f.

Orientadora: **Dra. Maria Isabel Berto**

1. Reologia. 2. Fibras Prebióticas. 3. Bebidas Lácteas. 4. Sinérese. I. Instituto de Tecnologia de Alimentos (Ital). Centro de Tecnologia de Laticínios e Bactérias Lácticas (Tecnolat). II. Berto, Maria Isabel. III. Título.

Título em inglês: Preparation and behavior study of dairy beverages formulations with potentially prebiotic fibers.

Key-words: fermented dairy beverages; Xilooligosacarideo; Isomalto oligosaccharides; rheology; experimental design.

Titulação: Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos

Banca Examinadora: Maria Isabel Berto; Patrícia Blumer Zacarchenco Rodrigues de Sá; Luís Carlos de Oliveira Santos Junior; Daniel Ibraim Pires Atala>

Data da Defesa: 28 de setembro de 2023

Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos

BANCA EXAMINADORA

Este exemplar corresponde à redação final da Dissertação de Mestrado defendida por Renato Alves Pereira, aprovada pela Comissão Julgadora em 28 de setembro de 2023.

Prof.(a) Dr.(a) Maria Isabel Berto
ITAL/TECNOLAT - (Presidente)

Prof.(a) Dr.(a) Patrícia Blumer Zacarchenco Rodrigues de Sá
ITAL/TECNOLAT - Co-orientador (a)

Dr. Luís Carlos de Oliveira Santos Junior
Cargil Alimentos (titular)

Dr. Daniel Ibraim Pires Atala
SUEZ group (titular)

Prof. Dr. Adriano Gomes da Cruz
Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro (IFRJ) (suplente)

A ata de defesa de dissertação de mestrado com as respectivas assinaturas dos membros da banca encontra-se arquivada junto à documentação do aluno.

DEDICATÓRIA

Dedico esse trabalho a todas as pessoas que trabalham com pesquisa e que em muitos casos, em tempos de especialistas de redes sociais, não tem o devido reconhecimento por parte da sociedade.

“Se você quer melhorar, alegre-se quando for considerado tolo e estúpido pelos outros”, Epiteto.

AGRADECIMENTOS

Muitas pessoas contribuíram de alguma forma para que esse trabalho se realizasse, mas algumas tiveram um papel primordial nessa tarefa.

Minha orientadora, Dra. Maria Isabel Berto, que além de ser uma grande incentivadora, teve muita paciência comigo durante todo esse período, que me trouxeram muita clareza sobre alguns aspectos profissionais e acadêmicos, mas também muitas dúvidas e sem esse apoio, com certeza minha tarefa não teria êxito.

Minha esposa Fabiana, me apoiou e me motivou, dando um suporte primordial, principalmente nos momentos em que as dúvidas pessoais dificultaram o andamento do projeto.

A toda a equipe do TecnoLat, que deu um suporte inestimável para a conclusão de algumas tarefas, em especial a Dra. Patrícia Blumer, que também foi minha orientadora, e teve um papel fundamental no projeto, sem o seu conhecimento, as barreiras para o desenvolvimento do trabalho seriam muito maiores.

A todos os meus familiares e amigos, pelas palavras de incentivo e por estarem disponíveis para qualquer eventual necessidade.

A todo o programa de Pós-graduação do Ital e seus profissionais, pela oportunidade de agregar tão valioso conhecimento ao meu currículo, saio desse projeto com a certeza de que esse suporte agregou imensamente minha percepção profissional e pessoal.

Aos integrantes da banca avaliadora, por disponibilizar um período tão precioso do seu tempo para agregar informações e percepções de evolução no meu trabalho, essa troca foi valiosa para o desenvolvimento de um trabalho mais qualificado.

A 21 anos atrás, quando iniciei minha vida profissional no Ital, não tinha a dimensão de como esse contato com profissionais tão preparados iria me levar, e hoje tenho convicção de quão qualificado é o corpo técnico dessa instituição e me sinto orgulhoso de contribuir de alguma forma e poder vivenciar essa experiência.

RESUMO

Os alimentos funcionais estão ganhando cada vez mais espaço na indústria de alimento. Novas tecnologias têm ajudado na obtenção de produtos com melhores características e custo. Recentemente, as indústrias e o Ministério da Saúde se comprometeram com a redução do percentual de açúcar em vários alimentos industrializados, entre eles as bebidas lácteas, com uma meta de redução para 2022 de até 53,9% desse ingrediente. Com base nessa meta e com foco em criar alternativas viáveis para diminuir o impacto na redução do açúcar, esse projeto elaborou, com auxílio de planejamento experimental, formulações de bebidas lácteas fermentadas, variando os percentuais adicionados de açúcar, proteína de leite e fibras potencialmente prebióticas. As fibras prebióticas que fizeram parte das formulações foram a fibra Xilo oligossacarídeo (XOS) e Isomalto oligossacarídeo (IMO). Estas formulações foram desenvolvidas utilizando Delineamento Composto Central Rotacional (DCCR), sendo os ingredientes definidos como variáveis, proteína de leite, açúcar e fibra. As formulações foram preparadas, armazenadas sob refrigeração por 45 dias e avaliadas quanto ao pH, separação de soro (sinérese) e comportamento reológico. Os resultados foram analisados estatisticamente em função das interações das três variáveis, bem como seus efeitos ao longo do tempo. Os resultados foram apresentados de modo a evidenciar como o percentual de cada variável influenciou os parâmetros avaliados (pH, sinérese e viscosidade). Ao longo do período de análises foi possível concluir que a variável proteína teve papel de destaque em ambas as formulações com fibra prebiótica, mas também indicou que, comparando as formulações, com ambas as fibras, as formulações com IMO apresentaram menor variação de pH e menor separação de soro (Sinérese). As formulações com maior índice de Sinérese, que foi registrado após 45 dia de armazenamento, ficaram em 16,66mL para XOS (F13) e 13,67mL para IMO (F13). Para os valores de viscosidade, as formulações de IMO apresentaram maiores valores, chegando a 1118,35cP (F14/30dias) enquanto para XOS, o maior valor ficou em 596,78cP (F7/07dias), todas na tensão de cisalhamento de 50 s^{-1} . Neste contexto, ambas as fibras podem ser incorporadas às formulações, sem impactos negativos para os parâmetros avaliados constituindo opção interessante para agregar valor às bebidas lácteas fermentadas.

Palavras-chave:

Bebida Láctea Fermentada; Xilo Oligossacarídeo; Isomalto Oligossacarídeo; Reologia; Planejamento Experimental.

ABSTRACT

Functional foods are gaining more and more space in the food industry. New technologies have helped to obtain products with better characteristics and cost. Recently, industries and the Ministry of Health committed to reducing the percentage of sugar in several processed foods, including dairy drinks, with a target for a reduction of up to 62% of this ingredient for 2022. Based on this goal and with a focus on creating alternatives to reduce the impact on sugar reduction and become viable alternatives, this project developed, with the help of experimental planning, formulations of fermented milk drinks, varying the percentages added of sugar, milk protein and potentially prebiotic fibers. The prebiotic fibers that were part of the formulations were Xylo oligosaccharide (XOS) and Isomalto oligosaccharide (IMO) fiber. These formulations were developed using Central Composite Rotational Design (DCCR), with the ingredients defined as variables, milk protein, sugar and fiber. The formulations were prepared, stored under refrigeration for 45 days and evaluated for pH, serum separation (syneresis) and rheological behavior. The results were statistically analyzed based on the interactions of the three variables, as well as their effects over time. The results were presented in order to highlight how the percentage of each variable influenced the evaluated parameters (pH, syneresis and viscosity). Throughout the analysis period, it was possible to conclude that the protein variable played a prominent role in both formulations with prebiotic fiber, but it also indicated that, comparing the formulations with both fibers, the formulations with IMO showed lower pH variation, lower serum separation (Syneresis), where the formulations with the highest index, which was recorded after 45 days of storage, were 16.66mL for XOS(F13) and 13.67mL for IMO(F13), for viscosity values, the IMO formulations presented higher values, reaching 1118.35cP (F14/30days) while for XOS, the highest value was 596.78cP (F7/07days), all at shear stress of 50 s⁻¹. Another finding was that both can be incorporated into formulations, without harmful impacts, which leads to the conclusion that fibers tend to be an interesting option, taking into account only the parameters studied.

Key words: fermented dairy beverages; Xilooligosacarideo; Isomalto oligosaccharides; rheology; experimental design.

SUMÁRIO

RESUMO.....	vi
ABSTRACT	vii
SUMÁRIO.....	viii
LISTA DE FIGURAS	x
LISTA DE TABELAS	xv
1 INTRODUÇÃO	1
2 OBJETIVOS	2
2.1 Objetivo principal.....	2
2.2 OBJETIVOS específicos	2
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	2
3.1 Iogurtes/bebidas fermentadas	2
3.2 Proteínas lácteas.....	3
3.3 Fibras prebióticas	4
3.3.1 XOS (Xilo Oligossacarídeos)	5
3.3.2 Fibra prebiótica IMO (Isomalto Oligossacarídeos)	6
3.4 Comportamento reológico de fluidos e viscosidade	8
3.5 planejamento experimental	9
4 MATERIAIS E MÉTODOS.....	10
4.1 Materiais	10
4.1.1 Amostras	10
4.1.2 Equipamentos	11
4.2 Métodos.....	12
4.2.1 Planejamento experimental.....	12
4.2.1 Preparo das formulações bebidas lácteas fermentadas.....	15

4.2.2	Análise reológica	18
4.2.3	Medição do pH	20
4.2.4	Determinação de sinérese.....	20
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	21
5.1	formulação com XOS.....	21
5.1.1	Análise de pH.....	21
5.1.2	Análise de sinérese ao longo dos 45 dias	27
5.1.3	Análise de reologia	34
5.2	formulação com IMO.....	47
5.2.1	Análise de pH.....	47
5.2.2	Análise da sinérese	53
5.2.3	Análise da reologia.....	59
6	CONCLUSÕES	70
7	REFERÊNCIAS.....	71
8	ANEXOS	75
8.1	Planejamento da formulação com XOS.....	75
8.1.1	Gráficos estatísticos - Análise de pH.....	75
8.1.2	Gráficos estatísticos e Fotos - Análise de Sinérese	81
8.1.3	Gráficos estatísticos - Análise de Viscosidade 50s ⁻¹	98
8.1.4	Gráficos estatísticos - Análise de Viscosidade 100 s ⁻¹	102
8.1.5	Tabelas e gráficos - Análise de Viscosidade.....	106
8.2	Planejamento da formulação com IMO.....	121
8.2.1	Gráficos estatísticos - Análise de pH.....	121
8.2.2	Gráficos estatísticos e Fotos - Análise de Sinérese	126
8.2.3	Gráficos estatísticos - Análise de Viscosidade 50s ⁻¹	144
8.2.4	Gráficos estatísticos - Análise de Viscosidade 100 s ⁻¹	148
8.2.5	Tabelas e gráficos - Análise de Viscosidade.....	153

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. FORMULAÇÃO XOS-F7 NO MOMENTO DA PESAGEM, COM O VALOR DOS INGREDIENTES ANOTADOS NO PRÓPRIO BECKER.....	16
FIGURA 2. FORMULAÇÃO XOS-PC01, APÓS A PESAGEM DA ÁGUA QUE FOI ADICIONADA A MISTURA.....	16
FIGURA 3. FLUXOGRAMA DESCRITIVO DAS ETAPAS DE PRODUÇÃO DE BEBIDAS LÁCTEAS/IOGURTES.	17
FIGURA 4. FORMULAÇÕES DURANTE O PROCESSO DE INCUBAÇÃO A 43°C EM ESTUFA B.O.D.	17
FIGURA 5. FORMULAÇÃO SENDO SUBMETIDA A RESFRIAMENTO FORÇADO EM BANHO DE ÁGUA FRIA, LOGO APÓS A ETAPA DE INCUBAÇÃO, ATÉ ATINGIR 20°C.....	18
FIGURA 6. EXEMPLO DE FORMULAÇÃO XOS-F1, APÓS O ENVASE NAS EMBALAGENS PARA ARMAZENAMENTO E REALIZAÇÃO DAS ANÁLISES REOLÓGICAS, PH E SINÉRESE.	18
FIGURA 7. GRÁFICO COM A EVOLUÇÃO DO PH DAS FORMULAÇÕES XOS AO LONGO DE 45 DIAS DE ARMAZENAMENTO, COM LEITURA A 20°C.....	23
FIGURA 8. DIAGRAMA DE PARETO DAS INTERAÇÕES DAS FORMULAÇÕES COM A FIBRA PREBIÓTICA XOS NAS ANÁLISES DE PH NA DATA DA PREPARAÇÃO (FONTE: PROTİMIZA, 2022).....	24
FIGURA 9. ANÁLISE DE VARIÂNCIA (ANOVA) DAS INTERAÇÕES DAS FORMULAÇÕES COM A XOS, NAS ANÁLISES DE PH LOGO APÓS A PREPARAÇÃO, CONSIDERADO DIA 0 (FONTE: PROTİMIZA, 2022).....	24
FIGURA 10. REGISTRO DA AVALIAÇÃO DA SINÉRESE DAS FORMULAÇÕES COM XOS APÓS 7 DIAS DE ARMAZENAMENTO. (A) FORMULAÇÃO F0 (Ñ, 0, 0)* APRESENTOU 0,33 ML DE SINÉRESE; (B) FORMULAÇÃO F8 (+1, +1, +1)* NÃO SOFREU SINÉRESE (C) FORMULAÇÃO F13 (0, 0, -1,68)* APRESENTOU 11,33 ML DE SINÉRESE. * = (X1, X2, X3).....	27
FIGURA 11. GRÁFICO COM OS VALORES PERCENTUAIS DE SINÉRESE DAS FORMULAÇÕES DE XOS ANALISADAS AO LONGO DE 45 DIAS DE ARMAZENAMENTO A 4°C.....	29
FIGURA 12. DIAGRAMA DE PARETO DAS INTERAÇÕES DAS FORMULAÇÕES COM A FIBRA PREBIÓTICA XOS NAS ANÁLISES DE SINÉRESE 7 DIAS APÓS SEU PREPARO (FONTE: PROTİMIZA, 2022).....	30
FIGURA 13. ANÁLISE DE VARIÂNCIA (ANOVA) DAS INTERAÇÕES DAS FORMULAÇÕES COM A FIBRA PREBIÓTICA XOS NAS ANÁLISES DE SINÉRESE 7 DIAS APÓS SEU PREPARO (FONTE: PROTİMIZA, 2022).....	30
FIGURA 14. SUPERFÍCIE DE RESPOSTA DA INTERAÇÃO AÇÚCAR (X2) E PROTEÍNA (X3) DAS FORMULAÇÕES COM XOS NOS RESULTADOS DE SINÉRESE, 7 DIAS APÓS O PREPARO (FONTE: PROTİMIZA, 2022).	31
FIGURA 15. GRÁFICO COM OS VALORES DE VISCOSIDADE EM CP DAS AMOSTRAS DE BEBIDA LÁCTEA COM FIBRA PREBIÓTICA XOS ANALISADAS AO LONGO DE 45 DIAS DE ARMAZENAMENTO NA TAXA DE CISLHAMENTO 50S-1.	36

FIGURA 16. DIAGRAMA DE PARETO DAS INTERAÇÕES DAS FORMULAÇÕES COM A FIBRA PREBIÓTICA XOS NAS ANÁLISES REOLÓGICAS COM A TENSÃO DE CISALHAMENTO NO PONTO 50S-1, 7 DIAS APÓS SEU PREPARO (FONTE: PROTIMIZA, 2022).	37
FIGURA 17. ANÁLISE DE VARIÂNCIA (ANOVA) DAS FORMULAÇÕES COM A FIBRA PREBIÓTICA XOS NAS ANÁLISES REOLÓGICAS COM A TENSÃO DE CISALHAMENTO NO PONTO 50S-1, 7 DIAS APÓS SEU PREPARO (FONTE: PROTIMIZA, 2022).	38
FIGURA 18. SUPERFÍCIE DE RESPOSTA DA INTERAÇÃO AÇÚCAR (X2) E PROTEÍNA (X3) DAS FORMULAÇÕES COM A FIBRA PREBIÓTICA XOS NAS ANÁLISES REOLÓGICAS COM A TENSÃO DE CISALHAMENTO NO PONTO 50S-1, 7 DIAS APÓS SEU PREPARO (FONTE: PROTIMIZA, 2022).	39
FIGURA 19. GRÁFICO COM OS VALORES DE VISCOSIDADE EM CP DAS FORMULAÇÕES COM XOS ANALISADAS AO LONGO DE 45 DIAS, NA TAXA DE CISALHAMENTO DE 100S-1.	42
FIGURA 20. DIAGRAMA DE PARETO DAS INTERAÇÕES DAS FORMULAÇÕES COM A FIBRA PREBIÓTICA XOS NAS ANÁLISES REOLÓGICAS COM A TENSÃO DE CISALHAMENTO NO PONTO 100S-1, 7 DIAS APÓS SEU PREPARO (FONTE: PROTIMIZA, 2022).	43
FIGURA 21. ANÁLISE DE VARIÂNCIA (ANOVA) DAS FORMULAÇÕES COM A FIBRA PREBIÓTICA XOS NAS ANÁLISES REOLÓGICAS COM A TENSÃO DE CISALHAMENTO 100S-1, 7 DIAS APÓS SEU PREPARO (FONTE: PROTIMIZA, 2022).	44
FIGURA 22. INTERAÇÃO AÇÚCAR (X2) E PROTEÍNA (X3) DAS FORMULAÇÕES COM A FIBRA PREBIÓTICA XOS NAS ANÁLISES REOLÓGICAS COM A TENSÃO DE CISALHAMENTO NO PONTO 100S-1, 7 DIAS APÓS SEU PREPARO (FONTE: PROTIMIZA, 2022).	44
FIGURA 23. GRÁFICO COM A EVOLUÇÃO DO PH DAS FORMULAÇÕES IMO AO LONGO DE 45 DIAS DE ARMAZENAMENTO, COM LEITURA A 20°C.	49
FIGURA 24. DIAGRAMA DE PARETO DAS INTERAÇÕES DAS FORMULAÇÕES COM A FIBRA PREBIÓTICA IMO NAS ANÁLISES DE PH NA DATA DA PREPARAÇÃO (FONTE: PROTIMIZA, 2022).	50
FIGURA 25. ANÁLISE DE VARIÂNCIA (ANOVA) DAS INTERAÇÕES DAS FORMULAÇÕES COM A FIBRA PREBIÓTICA IMO NAS ANÁLISES DE PH NA DATA DO SEU PREPARO (FONTE: PROTIMIZA, 2022).	50
FIGURA 26. REGISTRO DA AVALIAÇÃO DA SINÉRESE DAS FORMULAÇÕES COM IMO APÓS 7 DIAS DE ARMAZENAMENTO: (A) FORMULAÇÃO F0 APRESENTOU 0,33 ML DE SORO; (B) FORMULAÇÃO F13 APRESENTOU 9,00 ML DE SINÉRESE; (C) FORMULAÇÃO F14 NÃO SOFREU SINÉRESE.	53
FIGURA 27. GRÁFICO COM OS VALORES DE SINÉRESE DAS FORMULAÇÕES DE BEBIDA LÁCTEA COM FIBRA PREBIÓTICA IMO ANALISADAS APÓS 07 DIAS DE ARMAZENAMENTO A 4°C.	55
FIGURA 28. DIAGRAMA DE PARETO DAS INTERAÇÕES DAS FORMULAÇÕES COM A FIBRA PREBIÓTICA IMO NAS ANÁLISES DE SINÉRESE 7 DIAS APÓS SUA PREPARAÇÃO (FONTE: PROTIMIZA, 2022).	56
FIGURA 29. ANÁLISE DE VARIÂNCIA (ANOVA) DAS INTERAÇÕES DAS FORMULAÇÕES COM A FIBRA PREBIÓTICA IMO NAS ANÁLISES DE SINÉRESE 7 DIAS APÓS SEU PREPARO (FONTE: PROTIMIZA, 2022).	57

FIGURA 30. GRÁFICO COM OS RESULTADOS DE VISCOSIDADE EM CP DAS FORMULAÇÕES COM IMO E FORMULAÇÃO SEM FIBRA (F0), ANALISADAS AO LONGO DE 45 APÓS SEU PREPARO A 10°C NA TENSÃO DE CISALHAMENTO 50S-1(Y1).	61
FIGURA 31. DIAGRAMA DE PARETO DAS INTERAÇÕES DAS FORMULAÇÕES COM IMO NAS ANÁLISES REOLÓGICAS NO PONTO DE TENSÃO DE CISALHAMENTO 50S-1 APÓS 7 DIAS DO SEU PREPARO (FONTE: PROTIMIZA, 2022).	62
FIGURA 32. ANÁLISE DE VARIÂNCIA (ANOVA) DAS FORMULAÇÕES COM IMO NAS ANÁLISES REOLÓGICAS NO PONTO DE TENSÃO DE CISALHAMENTO 50S-1 APÓS 7 DIAS DO SEU PREPARO (FONTE: PROTIMIZA, 2022).	62
FIGURA 33. SUPERFÍCIE DE RESPOSTA DA INTERAÇÃO AÇÚCAR (X2) E PROTEÍNA (X3) DAS FORMULAÇÕES COM A FIBRA PREBIÓTICA IMO NAS ANÁLISES REOLÓGICAS NO PONTO DE TENSÃO DE CISALHAMENTO 50S-1 APÓS 7 DIAS DO SEU PREPARO (FONTE: PROTIMIZA, 2022).	63
FIGURA 34. GRÁFICO COM OS RESULTADOS DE VISCOSIDADE EM CP DAS FORMULAÇÕES COM IMO ANALISADAS AO LONGO DE 45 DIAS DE ARMAZENAMENTO, NA TENSÃO DE CISALHAMENTO 100S-1.	66
FIGURA 35. DIAGRAMA DE PARETO DAS INTERAÇÕES DAS FORMULAÇÕES COM A FIBRA PREBIÓTICA IMO NAS ANÁLISES REOLÓGICAS NO PONTO DE TENSÃO DE CISALHAMENTO 100S-1 APÓS 7 DIAS DO SEU PREPARO (FONTE: PROTIMIZA, 2022).	67
FIGURA 36. ANÁLISE DE VARIÂNCIA (ANOVA) DAS FORMULAÇÕES COM IMO NAS ANÁLISES REOLÓGICAS NO PONTO DE TENSÃO DE CISALHAMENTO 100S-1 APÓS 07 DIAS DO SEU PREPARO (FONTE: PROTIMIZA, 2022).	67
FIGURA 37. SUPERFÍCIE DE RESPOSTA DA INTERAÇÃO AÇÚCAR (X2) E PROTEÍNA (X3) DAS FORMULAÇÕES COM A FIBRA PREBIÓTICA IMO NAS ANÁLISES REOLÓGICAS NO PONTO DE TENSÃO DE CISALHAMENTO 100S-1 APÓS 7 DIAS DO SEU PREPARO (FONTE: PROTIMIZA, 2022).	68
FIGURA 38. ANÁLISE ESTATÍSTICA DO PH EM 0 DIA DAS BEBIDAS LÁCTEAS FORMULADAS COM XOS (FONTE: PROTIMIZA, 2022).	76
FIGURA 39. ANÁLISE ESTATÍSTICA DO PH EM 7 DIAS DAS BEBIDAS LÁCTEAS FORMULADAS COM XOS (FONTE: PROTIMIZA, 2022).	77
FIGURA 40. ANÁLISE ESTATÍSTICA DO PH EM 15 DIAS DAS BEBIDAS LÁCTEAS FORMULADAS COM XOS (FONTE: PROTIMIZA, 2022).	78
FIGURA 41. ANÁLISE ESTATÍSTICA DO PH EM 30 DIAS DAS BEBIDAS LÁCTEAS FORMULADAS COM XOS (FONTE: PROTIMIZA, 2022).	79
FIGURA 42. ANÁLISE ESTATÍSTICA DO PH EM 45 DIAS DAS BEBIDAS LÁCTEAS FORMULADAS COM XOS (FONTE: PROTIMIZA, 2022).	80
FIGURA 43. IMAGENS DAS PROVETAS PARA REGISTRO DA SINÉRESE AOS 7 DIAS DE VIDA DE PRATELEIRA DAS FORMULAÇÕES COM XOS.	83
FIGURA 44. GRÁFICO COM OS VALORES DE SINÉRESE DAS FORMULAÇÕES DE BEBIDA LÁCTEA COM FIBRA PREBIÓTICA XOS ANALISADAS APÓS 07 DIAS DE ARMAZENAMENTO A 4°C.	84

FIGURA 45. ANÁLISE ESTATÍSTICA DA RESPOSTA SE SINÉRESE COM 7 DIAS DAS FORMULAÇÕES COM A FIBRA PREBIÓTICA XOS (FONTE: PROTIMIZA, 2022).....	85
FIGURA 46. IMAGENS DAS PROVETAS PARA REGISTRO DA SINÉRESE AOS 15 DIAS DE VIDA DE PRATELEIRA DAS FORMULAÇÕES COM XOS.....	87
FIGURA 47. GRÁFICO COM OS VALORES DE SINÉRESE DAS FORMULAÇÕES DE BEBIDA LÁCTEA COM FIBRA PREBIÓTICA XOS ANALISADAS APÓS 15 DIAS DE ARMAZENAMENTO A 4°C.	88
FIGURA 48. ANÁLISE ESTATÍSTICA DA RESPOSTA SE SINÉRESE COM 15 DIAS DAS FORMULAÇÕES COM A FIBRA PREBIÓTICA XOS (FONTE: PROTIMIZA, 2022).....	89
FIGURA 49. IMAGENS DAS PROVETAS PARA REGISTRO DA SINÉRESE AOS 30 DIAS DE VIDA DE PRATELEIRA DAS FORMULAÇÕES COM XOS.....	91
FIGURA 50. GRÁFICO COM OS VALORES DE SINÉRESE DAS FORMULAÇÕES DE BEBIDA LÁCTEA COM FIBRA PREBIÓTICA XOS ANALISADAS APÓS 30 DIAS DE ARMAZENAMENTO A 4°C.	92
FIGURA 51. ANÁLISE ESTATÍSTICA DA RESPOSTA SE SINÉRESE COM 30 DIAS DAS FORMULAÇÕES COM A FIBRA PREBIÓTICA XOS (FONTE: PROTIMIZA, 2022).....	93
FIGURA 52. IMAGENS DAS PROVETAS PARA REGISTRO DA SINÉRESE AOS 45 DIAS DE VIDA DE PRATELEIRA DAS FORMULAÇÕES COM XOS.....	95
FIGURA 53. GRÁFICO COM OS VALORES DE SINÉRESE DAS FORMULAÇÕES DE BEBIDA LÁCTEA COM FIBRA PREBIÓTICA XOS ANALISADAS APÓS 45 DIAS DE ARMAZENAMENTO A 4°C.	96
FIGURA 54. ANÁLISE ESTATÍSTICA DA RESPOSTA SE SINÉRESE COM 45 DIAS DAS FORMULAÇÕES COM A FIBRA PREBIÓTICA XOS(FONTE: PROTIMIZA, 2022).....	97
FIGURA 55. ANÁLISE ESTATÍSTICA DA RESPOSTA SE ANÁLISE DE VISCOSIDADE 50S-1 COM 7 DIAS DAS FORMULAÇÕES COM A FIBRA PREBIÓTICA XOS (FONTE: PROTIMIZA, 2022). ..	99
FIGURA 56. ANÁLISE ESTATÍSTICA DA RESPOSTA SE ANÁLISE DE VISCOSIDADE 50S-1 COM 30 DIAS DAS FORMULAÇÕES COM A FIBRA PREBIÓTICA XOS(FONTE: PROTIMIZA, 2022). .	100
FIGURA 57. ANÁLISE ESTATÍSTICA DA RESPOSTA SE ANÁLISE DE VISCOSIDADE 50S-1 COM 45 DIAS DAS FORMULAÇÕES COM A FIBRA PREBIÓTICA XOS (FONTE: PROTIMIZA, 2022).	101
FIGURA 58. ANÁLISE ESTATÍSTICA DA RESPOSTA SE ANÁLISE DE VISCOSIDADE 100S-1 COM 07 DIAS DAS FORMULAÇÕES COM A FIBRA PREBIÓTICA XOS (FONTE: PROTIMIZA, 2022).	103
FIGURA 59. ANÁLISE ESTATÍSTICA DA RESPOSTA SE ANÁLISE DE VISCOSIDADE 100S-1 COM 30 DIAS DAS FORMULAÇÕES COM A FIBRA PREBIÓTICA XOS (FONTE: PROTIMIZA, 2022).	104
FIGURA 60. ANÁLISE ESTATÍSTICA DA RESPOSTA SE ANÁLISE DE VISCOSIDADE 100S-1 COM 45 DIAS DAS FORMULAÇÕES COM A FIBRA PREBIÓTICA XOS (FONTE: PROTIMIZA, 2022).	105
FIGURA 61. COMPORTAMENTO REOLÓGICO – AMOSTRAS COM FIBRA PREBIÓTICA XOS 07 DIAS APÓS FORMULAÇÃO À 10°C - AJUSTE AO MODELO DE LEI DA POTÊNCIA.	110
FIGURA 62. COMPORTAMENTO REOLÓGICO – AMOSTRAS COM FIBRA PREBIÓTICA XOS 30 DIAS APÓS FORMULAÇÃO À 10°C - AJUSTE AO MODELO DE LEI DA POTÊNCIA.	115
FIGURA 63. COMPORTAMENTO REOLÓGICO – AMOSTRAS COM FIBRA PREBIÓTICA XOS 45 DIAS APÓS FORMULAÇÃO À 10°C - AJUSTE AO MODELO DE LEI DA POTÊNCIA.	120
FIGURA 64. ANÁLISE ESTATÍSTICA DA RESPOSTA DE PH APÓS 0 DIAS DE ARMAZENAMENTO NAS FORMULAÇÕES COM A FIBRA PREBIÓTICA IMO (FONTE: PROTIMIZA, 2022).....	121

FIGURA 65. ANÁLISE ESTATÍSTICA DA RESPOSTA DE PH APÓS 7 DIAS DE ARMAZENAMENTO NAS FORMULAÇÕES COM A FIBRA PREBIÓTICA IMO (FONTE: PROTIMIZA, 2022).	122
FIGURA 66. ANÁLISE ESTATÍSTICA DA RESPOSTA DE PH APÓS 15 DIAS DE ARMAZENAMENTO NAS FORMULAÇÕES COM A FIBRA PREBIÓTICA IMO (FONTE: PROTIMIZA, 2022).	123
FIGURA 67. ANÁLISE ESTATÍSTICA DA RESPOSTA DE PH APÓS 30 DIAS DE ARMAZENAMENTO NAS FORMULAÇÕES COM A FIBRA PREBIÓTICA IMO (FONTE: PROTIMIZA, 2022).	124
FIGURA 68. ANÁLISE ESTATÍSTICA DA RESPOSTA DE PH APÓS 45 DIAS DE ARMAZENAMENTO NAS FORMULAÇÕES COM A FIBRA PREBIÓTICA IMO (FONTE: PROTIMIZA, 2022).	125
FIGURA 69. IMAGENS DAS PROVETAS PARA REGISTRO DA SINÉRESE AOS 7 DIAS DE VIDA DE PRATELEIRA DAS FORMULAÇÕES COM IMO.	128
FIGURA 70. ANÁLISE ESTATÍSTICA DA RESPOSTA SINÉRESE APÓS 7 DIAS DE ARMAZENAMENTO NAS FORMULAÇÕES COM A FIBRA PREBIÓTICA IMO (FONTE: PROTIMIZA, 2022).	129
FIGURA 71. GRÁFICO COM OS VALORES DE SINÉRESE DAS FORMULAÇÕES DE BEBIDA LÁCTEA COM FIBRA PREBIÓTICA IMO ANALISADAS APÓS 07 DIAS DE ARMAZENAMENTO A 4°C.	131
FIGURA 72. IMAGENS DAS PROVETAS PARA REGISTRO DA SINÉRESE AOS 15 DIAS DE VIDA DE PRATELEIRA DAS FORMULAÇÕES COM IMO.	133
FIGURA 73. GRÁFICO COM OS VALORES DE SINÉRESE DAS FORMULAÇÕES DE BEBIDA LÁCTEA COM FIBRA PREBIÓTICA IMO ANALISADAS APÓS 15 DIAS DE ARMAZENAMENTO A 4°C.	134
FIGURA 74. ANÁLISE ESTATÍSTICA DA RESPOSTA SINÉRESE APÓS 15 DIAS DE ARMAZENAMENTO NAS FORMULAÇÕES COM A FIBRA PREBIÓTICA IMO (FONTE: PROTIMIZA, 2022).	135
FIGURA 75. IMAGENS DAS PROVETAS PARA REGISTRO DA SINÉRESE AOS 30 DIAS DE VIDA DE PRATELEIRA DAS FORMULAÇÕES COM IMO.	137
FIGURA 76. GRÁFICO COM OS VALORES DE SINÉRESE DAS FORMULAÇÕES DE BEBIDA LÁCTEA COM FIBRA PREBIÓTICA IMO ANALISADAS APÓS 30 DIAS DE ARMAZENAMENTO A 4°C.	138
FIGURA 77. ANÁLISE ESTATÍSTICA DA RESPOSTA SINÉRESE APÓS 30 DIAS DE ARMAZENAMENTO NAS FORMULAÇÕES COM A FIBRA PREBIÓTICA IMO (FONTE: PROTIMIZA, 2022).	139
FIGURA 78. IMAGENS DAS PROVETAS PARA REGISTRO DA SINÉRESE AOS 45 DIAS DE VIDA DE PRATELEIRA DAS FORMULAÇÕES COM XOS.	141
FIGURA 79. GRÁFICO COM OS VALORES DE SINÉRESE DAS FORMULAÇÕES DE BEBIDA LÁCTEA COM FIBRA PREBIÓTICA IMO ANALISADAS APÓS 45 DIAS DE ARMAZENAMENTO A 4°C.	142
FIGURA 80. ANÁLISE ESTATÍSTICA DA RESPOSTA SINÉRESE APÓS 30 DIAS DE ARMAZENAMENTO NAS FORMULAÇÕES COM A FIBRA PREBIÓTICA IMO (FONTE: PROTIMIZA, 2022).	143

FIGURA 81. ANÁLISE ESTATÍSTICA DA RESPOSTA VISCOSIDADE A 50 S-1 APÓS 7 DIAS DE ARMAZENAMENTO NAS FORMULAÇÕES COM A FIBRA PREBIÓTICA IMO (FONTE: PROTIMIZA, 2022).....	145
FIGURA 82. ANÁLISE ESTATÍSTICA DA RESPOSTA VISCOSIDADE A 50 S-1 APÓS 30 DIAS DE ARMAZENAMENTO NAS FORMULAÇÕES COM A FIBRA PREBIÓTICA IMO (FONTE: PROTIMIZA, 2022).....	146
FIGURA 83. ANÁLISE ESTATÍSTICA DA RESPOSTA VISCOSIDADE A 50 S-1 APÓS 45 DIAS DE ARMAZENAMENTO NAS FORMULAÇÕES COM A FIBRA PREBIÓTICA IMO (FONTE: PROTIMIZA, 2022).....	147
FIGURA 84. ANÁLISE ESTATÍSTICA DA RESPOSTA VISCOSIDADE A 100 S-1 APÓS 7 DIAS DE ARMAZENAMENTO NAS FORMULAÇÕES COM A FIBRA PREBIÓTICA IMO (FONTE: PROTIMIZA, 2022).....	150
FIGURA 85. ANÁLISE ESTATÍSTICA DA RESPOSTA VISCOSIDADE A 100 S-1 APÓS 30 DIAS DE ARMAZENAMENTO NAS FORMULAÇÕES COM A FIBRA PREBIÓTICA IMO (FONTE: PROTIMIZA, 2022).....	151
FIGURA 86. ANÁLISE ESTATÍSTICA DA RESPOSTA VISCOSIDADE A 100 S-1 APÓS 45 DIAS DE ARMAZENAMENTO NAS FORMULAÇÕES COM A FIBRA PREBIÓTICA IMO (FONTE: PROTIMIZA, 2022).....	152
FIGURA 87. COMPORTAMENTO REOLÓGICO – AMOSTRAS COM FIBRA PREBIÓTICA IMO 07 DIAS APÓS FORMULAÇÃO À 10°C - AJUSTE AO MODELO DE LEI DA POTÊNCIA.	158
FIGURA 88. COMPORTAMENTO REOLÓGICO – AMOSTRAS COM FIBRA PREBIÓTICA IMO 30 DIAS APÓS FORMULAÇÃO À 10°C - AJUSTE AO MODELO DE LEI DA POTÊNCIA.	163
FIGURA 89. COMPORTAMENTO REOLÓGICO – AMOSTRAS COM FIBRA PREBIÓTICA IMO 45 DIAS APÓS FORMULAÇÃO À 10°C - AJUSTE AO MODELO DE LEI DA POTÊNCIA.	169

LISTA DE TABELAS

TABELA 1. VALORES PERCENTUAIS DOS NÍVEIS SUPERIORES (+1), INFERIORES (-1) E AMPLITUDE (-A E +A) DO PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL DCCR.	12
TABELA 2. PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL DCCR DAS FORMULAÇÕES ESTUDADAS NO PROJETO CONSIDERANDO AS VARIÁVEIS X1 = PREBIÓTICO; X2 = TEOR DE AÇÚCAR E X3 = TEOR DE PROTEÍNA DE CADA FORMULAÇÃO COM 2000ML.....	14
TABELA 3. VALORES DE PH DAS FORMULAÇÕES COM FIBRA PREBIÓTICA XOS REALIZADOS AO LONGO DE 45 DIAS A PARTIR DO PREPARO COM X1 = FIBRA XOS, X2 = AÇÚCAR E X3 = PROTEÍNA.	22
TABELA 4. RESUMO DO RESULTADO DO TRATAMENTO ESTATÍSTICO DOS VALORES DE PH.	26
TABELA 5. RESULTADOS DE SINÉRESE PARA AS FORMULAÇÕES COM XOS E FORMULAÇÃO SEM FIBRA AO LONGO DE 45 DIAS DE ARMAZENAMENTO A 4°C, COM X1= XOS, X2 = AÇÚCAR E X3 = PROTEÍNA.....	28
TABELA 6. RESUMO DO RESULTADO DO TRATAMENTO ESTATÍSTICO DA SINÉRESE.	33

TABELA 7. VALORES DE ÍNDICE DE CONSISTÊNCIA (K(MPA)) E COMPORTAMENTO DE FLUXO (N) UTILIZADOS PARA CALCULAR OS VALORES DE TENSÃO DE CISALHAMENTO NO PONTO 50S-1 E 100S-1, DAS FORMULAÇÕES COM FIBRA PREBIÓTICA XOS REALIZADOS DIAS 07, 30 E 45 A 10°C.....	35
TABELA 8. VALORES DE VISCOSIDADE (MPA.S=CP) NA TENSÃO DE CISALHAMENTO NO PONTO 50S-1, DAS FORMULAÇÕES COM FIBRA PREBIÓTICA XOS REALIZADOS DIAS 07, 30 E 45 APÓS SEU PREPARO.	36
TABELA 9. RESUMO DO RESULTADO DO TRATAMENTO ESTATÍSTICO – VISCOSIDADE 50S-1.	40
TABELA 10. VALORES DE VISCOSIDADE (CP) NA TENSÃO DE CISALHAMENTO NO PONTO 100S-1, DAS FORMULAÇÕES COM FIBRA PREBIÓTICA XOS NOS DIAS 07, 30 E 45 APÓS SEU PREPARO.	41
TABELA 11. RESUMO DO RESULTADO DO TRATAMENTO ESTATÍSTICO – VISCOSIDADE 100S-1.	46
TABELA 12. VALORES DE PH DAS FORMULAÇÕES COM FIBRA PREBIÓTICA IMO REALIZADOS AO LONGO DE 45 DIAS A PARTIR DO SEU PREPARO.....	48
TABELA 13. RESUMO DO TRATAMENTO ESTATÍSTICO DO PH PARA IMO.....	52
TABELA 14. RESULTADOS DE SINÉRESE PARA AS FORMULAÇÕES COM IMO E FORMULAÇÃO SEM FIBRA AO LONGO DE 45 DIAS DE ARMAZENAMENTO A 4°C, COM X1= XOS, X2 = AÇÚCAR E X3 = PROTEÍNA.....	54
TABELA 15. RESUMO DO RESULTADO DO TRATAMENTO ESTATÍSTICO DE SINÉRESE.	58
TABELA 16. RESULTADOS DE ÍNDICE DE CONSISTÊNCIA (K) E COMPORTAMENTO DE FLUXO (N) UTILIZADOS PARA CALCULAR OS VALORES DE TENSÃO DE CISALHAMENTO NO PONTO 50S-1 E 100S-1, DAS FORMULAÇÕES COM FIBRA PREBIÓTICA IMO REALIZADOS DIAS 07, 30 E 45 A 10°C.....	59
TABELA 17. RESULTADO DE VISCOSIDADE (CP) COM TENSÃO DE CISALHAMENTO NO PONTO 50S-1, DAS FORMULAÇÕES COM IMO REALIZADOS DIAS 07, 30 E 45 APÓS SEU PREPARO.	60
TABELA 18. RESUMO DO RESULTADO DO TRATAMENTO ESTATÍSTICO – VISCOSIDADE 50S-1.	64
TABELA 19. RESULTADOS DE VISCOSIDADE (CP) COM TENSÃO DE CISALHAMENTO NO PONTO 100S-1, DAS FORMULAÇÕES COM IMO, NOS DIAS 07, 30 E 45 APÓS SEU PREPARO.	65
TABELA 20. RESUMO DO RESULTADO DO TRATAMENTO ESTATÍSTICO – VISCOSIDADE 100S-1.	69
TABELA 21. VALORES DE SINÉRESE PARA FIBRA PREBIÓTICA XOS COM 07 DIAS DE ARMAZENAMENTO A 4°C.....	83
TABELA 22. VALORES DE SINÉRESE PARA FIBRA PREBIÓTICA XOS APÓS 15 DIAS DE ARMAZENAMENTO A 4°C.....	88
TABELA 23. VALORES DE SINÉRESE PARA FIBRA PREBIÓTICA XOS COM 30 DIAS DE ARMAZENAMENTO A 4°C.....	92
TABELA 24. VALORES DE SINÉRESE EM PARA FIBRA PREBIÓTICA XOS COM 45 DIAS DE ARMAZENAMENTO A 4°C.....	96

TABELA 25. PARÂMETROS AJUSTADOS (MODELO DE LEI DA POTÊNCIA) AOS REOGRAMAS DAS AMOSTRAS COM FIBRA PREBIÓTICA XOS 07 DIAS APÓS FORMULAÇÃO À 10°C.	106
TABELA 26. VISCOSIDADES APARENTES NAS TAXAS DE 50 E 100S-1 (MODELO DE LEI DA POTÊNCIA) – DAS FORMULAÇÕES COM FIBRA PREBIÓTICA XOS 07 DIAS APÓS FORMULAÇÃO À 10°C.	107
TABELA 27. PARÂMETROS AJUSTADOS (MODELO DE LEI DA POTÊNCIA) AOS REOGRAMAS DAS AMOSTRAS COM FIBRA PREBIÓTICA XOS 30 DIAS APÓS FORMULAÇÃO À 10°C.	111
TABELA 28. VISCOSIDADES APARENTES NAS TAXAS DE 50 E 100S-1 (MODELO DE LEI DA POTÊNCIA) – AMOSTRAS COM FIBRA PREBIÓTICA XOS 30 DIAS APÓS FORMULAÇÃO À 10°C.	112
TABELA 29. PARÂMETROS AJUSTADOS (MODELO DE LEI DA POTÊNCIA) AOS REOGRAMAS DAS AMOSTRAS COM FIBRA PREBIÓTICA XOS 45 DIAS APÓS FORMULAÇÃO À 10°C.	116
TABELA 30. VISCOSIDADES APARENTES NAS TAXAS DE 50 E 100S-1 (MODELO DE LEI DA POTÊNCIA) – AMOSTRAS COM FIBRA PREBIÓTICA XOS 45 DIAS APÓS FORMULAÇÃO À 10°C.	117
TABELA 31. VALORES DE SINÉRESE PARA FIBRA PREBIÓTICA IMO COM 07 DIAS DE ARMAZENAMENTO A 4°C.	130
TABELA 32. VALORES DE SINÉRESE PARA FIBRA PREBIÓTICA IMO APÓS 15 DIAS DE ARMAZENAMENTO A 4°C.	134
TABELA 33. VALORES DE SINÉRESE PARA FIBRA PREBIÓTICA IMO COM 30 DIAS DE ARMAZENAMENTO A 4°C.	138
TABELA 34. VALORES DE SINÉRESE EM PARA FIBRA PREBIÓTICA IMO COM 45 DIAS DE ARMAZENAMENTO A 4°C.	142
TABELA 35. PARÂMETROS AJUSTADOS (MODELO DE LEI DA POTÊNCIA) AOS REOGRAMAS DAS AMOSTRAS COM FIBRA PREBIÓTICA XOS 45 DIAS APÓS FORMULAÇÃO À 10°C.	153
TABELA 36. VISCOSIDADES APARENTES NAS TAXAS DE 50 E 100S-1 (MODELO DE LEI DA POTÊNCIA) – AMOSTRAS COM FIBRA PREBIÓTICA IMO 07 DIAS APÓS FORMULAÇÃO À 10°C.	154
TABELA 37. PARÂMETROS AJUSTADOS (MODELO DE LEI DA POTÊNCIA) AOS REOGRAMAS DAS AMOSTRAS COM FIBRA PREBIÓTICA IMO 30 DIAS APÓS FORMULAÇÃO À 10°C.	159
TABELA 38. PARÂMETROS AJUSTADOS (MODELO DE LEI DA POTÊNCIA) AOS REOGRAMAS DAS AMOSTRAS COM FIBRA PREBIÓTICA IMO 45 DIAS APÓS FORMULAÇÃO À 10°C.	164
TABELA 39. VISCOSIDADES APARENTES NAS TAXAS DE 50 E 100S-1 (MODELO DE LEI DA POTÊNCIA) – AMOSTRAS COM FIBRA PREBIÓTICA IMO 45 DIAS APÓS FORMULAÇÃO À 10°C.	165

1 INTRODUÇÃO

A tecnologia de alimentos tem proporcionado ao longo do tempo, uma grande capacidade de prover alimentos cada vez mais práticos e acessíveis ao consumidor em geral. Entretanto, o consumidor está mais exigente em relação a qualidade desses produtos e por isso o mercado de alimentos e os órgãos reguladores têm trabalhado para aprimorar essa demanda.

O consumo de proteínas tem um papel muito importante na manutenção da estrutura das fibras musculares e densidade óssea, principalmente após os 50 anos, quando essas estruturas começam a diminuir no corpo humano. Esse fato aumenta a importância do consumo de produtos que possuam teores maiores de proteínas de alto valor biológico, como é o caso dos iogurtes (LEITE *et al*, 2011). A revisão sistemática de CUESTA-TRIANA *et al* (2019) destacou que o consumo de produtos lácteos por pessoas mais velhas pode reduzir o risco de fraturas nos ossos, especialmente com ingestão em maiores quantidades e, também, reduzir o risco de sarcopenia com melhora da massa muscular quando do uso de alimentos lácteos ricos em proteínas.

Outro fator importante a ser considerado é o consumo elevado de açúcares na alimentação diária que, segundo a Organização Mundial de Saúde (OMS), contribui significativamente para o aparecimento de algumas doenças como, hipertensão, obesidade, diabetes tipo 2 e doenças cardiovasculares (Ministério da Saúde, 2018)

Em 2018, o governo federal e algumas associações ligadas a indústria de alimentos, entre elas, a Associação Brasileira de Laticínios (Viva Lácteos), fizeram um acordo para a redução gradual do percentual de açúcar em seus produtos. No caso dos laticínios, a meta para essa redução é de até 53,9%, com monitoramento realizado pela Agência nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) (Ministério da Saúde, 2018).

Dentre as substâncias prebióticas, as fibras têm a característica de não serem absorvidas na primeira etapa do trato gastrointestinal, constituindo assim nutriente para as bifidobactérias presentes no intestino delgado com impactos significativos na produção de ácidos graxos e controle da glicemia, como alguns dos fatores benéficos com a presença desse tipo de microrganismo em nossa microbiota intestinal (CRUZ. *et al*. 2017).

Esse projeto teve como objetivo, avaliar formulações de bebidas lácteas fermentadas com adição de dois tipos de fibras potencialmente prebióticas (Xilooligosacarídeo, XOS e Isomalto oligossacarídeo, IMO), como possíveis substitutos de açúcar nesse tipo de alimento devido também suas características tecnológicas.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO PRINCIPAL

O objetivo desse projeto foi desenvolver 17 formulações de bebidas lácteas fermentadas com variações nos teores de sacarose, proteínas do leite e fibras prebióticas (XOS e IMO) e avaliar os resultados de pH, sinérese e viscosidade ao longo de 45 dias.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Para o cumprimento dos objetivos gerais deste projeto, os seguintes objetivos específicos foram executados:

- Foi realizado o planejamento de ensaios para produção de dois lotes de 17 formulações de bebidas lácteas fermentadas utilizando planejamento experimental DCCR, com três pontos centrais;
- Foram avaliados os resultados das formulações ao longo de 45 dias identificando as características quanto ao comportamento reológico, pH e sinérese.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 IOGURTES/BEBIDAS FERMENTADAS

Desde os primórdios, em diversas partes do mundo, os leites fermentados foram consumidos como alimentos que possuem valiosos benefícios à saúde. No início do século XX, Metchnikoff formulou a teoria da longevidade, que propunha que o consumo de leites fermentados seria responsável por uma vida mais longa, dado que as bactérias ácido-láticas ingeridas poderiam inibir a ação de bactérias nocivas, de modo a retardar

o processo de envelhecimento. Essa teoria foi responsável pelo aumento do interesse das pessoas pelos benefícios à saúde proporcionados pelo consumo de leite fermentado (YAMAMOTO, 2016 *apud* ARTILHA *et al.*, 2020). Segundo Shah (2007, citado por ARTILHA *et al.*, 2020), as explicações científicas a respeito dos efeitos benéficos do consumo de leite fermentado começaram a surgir no século XX. Isaac Carasso deu início a produção industrial de leite fermentado em 1971 em Barcelona, sendo esse um dos marcos do consumo em massa deste alimento (SACCARO, 2008 *apud* CARNEIRO *et al.*, 2012).

De acordo com a IN 46/2007 (MAPA), o leite fermentado é o produto obtido a partir da fermentação láctica por ação de cultivos de microrganismos específicos (BRASIL, 2007). Para a produção destes produtos, a fermentação do leite ocorre com um ou vários dos seguintes cultivos: *Lactobacillus acidophilus*, *Lactobacillus casei*, *Bifidobacterium sp.*, *Streptococcus thermophilus* e/ou outras bactérias ácido lácticas, que devem ser viáveis, ativas e abundantes no produto e durante toda a vida útil do produto. Para leites fermentados, a cultura mais utilizada é a de *Lactocaseibacillus casei*, que compreende bactérias lácticas fenotípica e geneticamente heterogêneas, aptas a colonizar vários ambientes naturais e criados pelo homem (SILVA *et al.*, 2019). Para iogurtes e várias bebidas lácteas fermentadas, os microrganismos típicos do fermento são *Streptococcus thermophilus* e *Lactobacillus bulgaricus*. É importante esclarecer que, de acordo com a legislação brasileira os teores mínimos de proteína exigidos para bebidas lácteas fermentadas e para leites fermentados são, respectivamente, de 1,6 e 2,9g/100g.

3.2 PROTEÍNAS LÁCTEAS

As proteínas são de grande importância na manutenção e crescimento muscular, pois contribuem para sustentação e manutenção da densidade óssea, motivo pelo qual atletas, sejam eles de alto desempenho ou preocupados em manter a saúde física em dia, procuram alimentos com alto teor de proteínas. Na última década, principalmente entre pessoas com 55 anos ou mais, houve um aumento no consumo desse tipo de alimento, justamente com a intenção de aumento de massa muscular e densidade óssea ou redução da perda de massa magra. Além disso, o consumo de proteínas também vem sendo associado ao controle e manutenção do peso corpóreo, sensação de saciedade e benefícios à saúde física e mental (STEPHANI *et al.*, 2016; RIBEIRO, 2016).

As proteínas do leite têm alta funcionalidade biológica, uma vez que possuem todos os aminoácidos essenciais em quantidades suficientes para as várias funções no organismo humano. Estas proteínas se dividem em caseínas e proteínas do soro que correspondem a 80 e 20% do total, respectivamente, possuem alta digestibilidade e alto teor de nitrogênio total. São utilizadas como padrão para avaliação do valor nutricional em proteínas alimentícias (STEPHANI et al, 2016; RIBEIRO, 2016; HARAGUCHI et al, 2005).

O teor médio de proteínas totais do leite é de aproximadamente 3,2%, porém, é possível aumentar esse percentual através de processos de concentração seletiva das proteínas, precipitação conjunta das caseínas e soro de leite e adição de ingredientes proteicos (WALSTRA et al, 2003).

Na Europa e América do Norte já existe mercado para vários produtos lácteos com alto teor de proteínas como, leites fortificados, leites aromatizados, iogurtes, leites fermentados e gelados comestíveis (STEPHANI et al, 2016; RIBEIRO, 2016). No Brasil existe grande potencial para o mercado de produtos lácteos. Diferentes tipos de produtos com alto teor de proteínas foram lançados havendo ainda oportunidade de inovação. De acordo com a IN 75/2020 (BRASIL, 2020) o alimento líquido preparado para conter 5g de proteínas/100g pode ser considerado “fonte de proteínas”.

3.3 FIBRAS PREBIÓTICAS

Prebióticas são substratos seletivamente utilizados por microrganismos hospedeiros, que promovem benefício a saúde (GIBSON et al, 2017). Essa é a definição mais recente para prebióticos e foi revisada pela Associação Científica Internacional para Probióticos e Prebióticos, onde foi discutida e refinada várias vezes desde que foi definida pela primeira vez por Gibson e Roberfroid em 1995. A grande maioria dos prebióticos é administrado via oral, porém, existem situações em que podem ser administrados por outras vias do organismo colonizadas por microrganismos, como trato vaginal ou a pele (CRUZ et al, 2019)

Os estudos sobre os efeitos à saúde atrelados aos prebióticos estão em evolução. Atualmente já é possível afirmar que alguns deles tem efeito benéfico no sistema gastrointestinal, através da inibição de agentes patogênicos e estimulação imune, no cardiometabolismo, em função da redução de lipídios no sangue e efeitos

sobre a resistência à insulina, podendo também ser benéficos para saúde mental, agindo sobre metabólitos que influenciam a função cerebral, de energia, cognição e contribuir para o fortalecimento ósseo, aumentando a biodisponibilidade de minerais, dentre outros benefícios (CRUZ *et al*, 2019)

Os prebióticos mais conhecidos atualmente são os carboidratos, mas existem outras substâncias, como polifenóis e ácidos graxos polinsaturados, convertidos em seus respectivos ácidos graxos conjugados que podem entrar na definição atualizada, desde que apresentem evidências de efeitos benéficos ao hospedeiro (BARROS *et al*, 2020; HERNANDEZ-HERNANDEZ *et al*, 2012).

Desta forma, a classe mais importante dos prebióticos representa um tipo especial de fibra dietética que, quando fermentada, provoca alterações mensuráveis da composição da microbiota intestinal, geralmente um aumento do número de bactérias consideradas benéficas, como as bifidobactérias ou certos produtores de butirato (CRUZ *et al*, 2020; MACHESI *et al*, 2016). No entanto, desde a introdução do conceito, muitos ingredientes alimentícios, em especial oligossacarídeos e polissacarídeos, incluindo as fibras vegetais, têm chamado a atenção por suas possíveis atividades prebióticas sem especificar algumas características relevantes. Nem todos os carboidratos da dieta podem ser considerados prebióticos, para tal, se faz necessário definir alguns critérios para essa classificação, como (a) não ser hidrolisado nem absorvido na parte superior do trato gastrointestinal, (b) ser fermentado pela microbiota intestinal e (c) apresentar estimulação seletiva ao crescimento e/ou atividade de bactérias intestinais, contribuindo para a saúde do hospedeiro (CRUZ *et al*, 2020; GIBSON-ROBERFROID, 1995; MATTILA-SANDHOLM *et al.*, 2002)

Um dos principais atributos que credenciam os prebióticos a serem benéficos à saúde é a influência na produção de ácidos graxos de cadeia curta, que possuem atividades antimicrobiana e reduzem o pH intestinal, contribuindo para exclusão de agentes patogênicos, o que leva a vários benefícios fisiológicos, metabólicos e imunológicos (BINDELS *et al.*, 2015).

3.3.1 XOS (Xilo Oligossacarídeos)

As xilo oligossacarídeos (XOS) são fibras prebióticas que têm como características predominantes serem comercializados em forma de pó branco, variando as moléculas de xilose entre 2 e 10 unidade, numa estrutura β -1,4, porém, também

podem ser encontrados oligossacarídeos com até 20 graus de polimerização. As extrações de XOS são feitas de polissacarídeos de xilana contidos em materiais lignocelulósicos, geralmente encontrados em resíduos como madeira de eucalipto, sabugos de milho, torta de malte, farelo e cascas. São estáveis a uma faixa considerável de pH (2,5 a 8) e temperaturas de até 100°C (BARROS *et al.*, 2017).

Outra característica interessante das XOS é sua utilização como adoçante em produtos de baixa caloria. Há inabilidade enzimática humana em hidrolisar as ligações β -1,4 o que inibe o aumento da glicemia, condição desejada principalmente na dieta de diabéticos. Também são não cariogênicos por não serem utilizadas na microbiota bucal (CARVALHO *et al.*, 2013).

Os efeitos benéficos das XOS são mais eficientes quando seus graus de polimerização são inferiores a 4, pois aumentam o rendimento do crescimento de bifidobactérias no intestino, o que à torna um prebiótico promissor. São reportados efeitos como melhora do trato intestinal, do sistema imunológico, da absorção de cálcio e do metabolismo dos lipídios, além de redução de cáries, de doenças cardiovasculares e de câncer de cólon. Além disso, as XOS têm papel anti-inflamatório, antioxidante e antialérgico. Recomenda-se que 4 g/dia são suficientes para se observar os efeitos benéficos relacionados com a utilização desta fibra prebiótica (CRUZ *et al.*, 2017).

3.3.2 Fibra prebiótica IMO (Isomalto Oligossacarídeos)

Os IMO são resultado da mistura de isomaltose (dissacarídeo), panose (trissacarídeo), maltotriose (trissacarídeo), isomaltotriose (trissacarídeo) e outro maior grau de oligossacarídeo. Muitas vezes, a isomaltose não é considerada uma molécula prebiótica porque é hidrolisada pela sacarase-isomaltase humana (KANEKO *et al.*, 1995; MADSEN *et al.*, 2017). Os IMO são considerados como SDOS (slowly digestible carbohydrate) porque, por sua ligação α -(1,6) e α -(1,6) - α -(1,4), e são suplementos dietéticos funcionais devido à sua resistência às enzimas digestivas humanas para digestão lenta. Os SDOS são carboidratos de digestão lenta sendo digeridos de forma constante, resultando em liberação prolongada de glicose no lúmen do intestino delgado para a corrente sanguínea, com redução da glicemia e menor necessidade de insulina.

Recentemente, os IMO passaram a não ser considerados fibras alimentares (vide FDA-2019-P-2239), eles foram reclassificados como carboidratos de digestão lenta com múltiplas aplicações alimentares e benefícios à saúde. Os IMO comercialmente são

sintetizados usando α -glicosidase transglicosilante (tAG) com amido pré-tratado como substrato. O IMO é geralmente uma mistura de isomaltose (DP2), panose (DP3), isomaltotriose (DP3), maltotetraose (DP4), isomaltotetraose (DP4), isomaltopentaose (DP5) e DP superior (KUMAR et al, 2023).

Os IMO são aceitos como suplementos dietéticos e receberam o status GRAS (*designação da Food and Drug Administration (FDA), dos Estados Unidos, de que um produto químico ou substância adicionada ao alimento é considerado seguro por especialistas, e assim isento dos requisitos de tolerância de aditivos alimentares da Lei Federal de Alimentos, Medicamentos e Cosméticos dos Estados Unidos (FFDCA)*), em várias jurisdições estrangeiras, incluindo Japão, China, Hong Kong, Taiwan, Coreia do Sul, Estados Unidos da América, Canadá, Europa, Austrália e Nova Zelândia. Eles também são aprovados como prebióticos pela Autoridade de Padrões de Alimentos e Segurança da Índia (FSSAI). Recentemente, em janeiro de 2020, USFDA vide FDA-2019-P-2239-0009 decidiu contra uma petição para a inclusão da IMO como fibra alimentar, mas é um carboidrato digerível lentamente. A FDA também mencionou que o IMO não deveria ser rotulado como fibra. SONG *et al.*, (2022) também relataram que o IMO pode ser usado na indústria alimentícia como um carboidrato de digestão lenta para regular a resposta glicêmica e o fornecimento de energia no sistema digestivo. No entanto, está aberto para novas petições com demonstração de benefícios à saúde com seu consumo. Os IMO tem um baixo índice glicêmico (GI) (SORNDECH et al., 2018) e tem seu potencial como Farma-nutracêuticos para melhorar a saúde do cólon, estimulando o crescimento de bactérias benéficas (GRAIDIST et al., 2019, LAN *et al.*, 2020; PLONGBUNJONG et al., 2017).

A maior parte da IMO comercial pode ser digerida no intestino delgado, e pode não atingir o cólon como um prebiótico benéfico, mas o IMO foi considerado o carboidrato não digerível mais adequado para o crescimento dos probióticos infantis humanos, ou seja, *Bifidobacterium Longum* (SHARMA *et al.*, 2022), *Bifidobacterium Bifidum* e *Bifidobacterium Adolescentis* (NGUYEN *et al.*, 2022). Os IMO foram autorizados como ingredientes alimentares pela Comissão Europeia após um parecer positivo da Autoridade Europeia de Segurança dos Alimentos sobre sua segurança como ingredientes prebióticos para consumo humano (PRECUP *et al.*, 2022)

3.4 COMPORTAMENTO REOLÓGICO DE FLUIDOS E VISCOSIDADE

O termo reologia se origina de derivação do termo grego “rheos” (fluir) e “logos” (estudo). A reologia pode ser definida como a ciência que estuda a deformação e o escoamento de materiais, ou seja, o modo como os materiais respondem à aplicação de uma tensão ou deformação (STEFFE, 1996 *apud* SOARES, 2017). A reologia abrange o estudo de diferentes propriedades associadas à deformação da matéria. Na reologia de líquidos, a principal propriedade é a viscosidade, que consiste na capacidade de um líquido resistir ao fluxo induzido pela tensão aplicada (cisalhamento). O valor da viscosidade de um fluido pode ser determinado através de equipamentos como viscosímetros e reômetros, onde a força, o torque e a rotação em que o fluido é submetido fornecem o valor da viscosidade, sendo, portanto, uma propriedade que é medida indiretamente (SILVA, 2017).

Os fluidos são classificados em função do comportamento como newtonianos ou não newtonianos (SILVA, 2017). Os fluidos newtonianos apresentam uma relação linear entre tensão de cisalhamento e a taxa de cisalhamento aplicada, dependendo apenas da temperatura e da composição do fluido. Já fluidos não-newtonianos têm uma viscosidade que pode variar com a mudança da taxa de cisalhamento ou a tensão de cisalhamento para as diversas formas de fluidos (TATTERSALL; BANFILL, 1983; SOARES, 2017).

Dentre as diversas razões para se ter conhecimento a respeito das propriedades reológicas dos alimentos, é possível citar: efetuar o controle de qualidade de matérias primas de processo ou fabricação de produtos e estudar a influência de componentes da formulação e relacionar a estrutura dos produtos com as suas características reológicas (STEFFE, 1996 *apud* GUTTIERRES; BARRETTO; 2009).

Os equipamentos utilizados para determinar a viscosidade de um fluido, são chamados de viscosímetros, em função de sua medição relacionar-se com o cisalhamento constante (velocidade angular estacionária), e seus valores pré-determinados, às características reológicas do produto.

Já os equipamentos que determinam o comportamento reológico dos fluidos são chamados de reômetros, que também são capazes de fazer leituras de viscoelasticidade, pois são mais complexos, uma vez que possuem características de varredura em uma

determinada faixa, não em apenas um ponto, em função de seu cisalhamento dinâmico (velocidade angular oscilatória).

Os parâmetros de viscosidade e reologia são determinantes para avaliar:

- Funcionalidades dos ingredientes de um determinado produto;
- Controle de qualidade do produto ou intermediário;
- Vida de prateleira de produtos;
- Avaliação de textura correlacionando a dados sensoriais;
- Cálculos de engenharia de processos que envolvem um grupo de equipamentos como trocadores de calor, homogeneizadores, bombas, tubulações, agitadores ou extrusoras.

3.5 PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL

O planejamento de ensaios consiste em combinar as diferentes variáveis operacionais, passíveis de alterações, dentro das faixas pré-selecionadas (entre o nível inferior [-1] e o nível superior [+1]), para a realização de um número de ensaios, estatisticamente suficiente, para que os efeitos, tanto os individuais quanto os de interações entre as variáveis sobre as variáveis-resposta em observação, sejam avaliados. A seleção dos níveis (-1 e 1) de cada variável independente é realizada de acordo com as possíveis condições de processos e parâmetros do protótipo (RODRIGUES E IEMMA, 2014).

A quantidade de ensaios de um delineamento composto central rotacional (DCCR) de dois níveis é estimada em 2^E+2E+C ensaios, onde “E” é a quantidade de variáveis independentes, para que possa gerar uma função objetivo de segunda ordem. A quantidade de ensaios 2^E é aplicada para análise das interações de primeira ordem, nos quais as variáveis valem -1 ou +1, enquanto 2E é a quantidade de ensaios referente aos pontos axiais, com uma amplitude de $-\alpha$ ou $+\alpha$, que vale $2^E/4$. “C” é a quantidade de ensaios na condição central, onde a condição das variáveis está no nível “0”. Para estudos experimentais, um mínimo de 3 ensaios deve ser realizado na condição central. Assim o DCCR é uma ferramenta estatística para avaliação das interações entre variáveis (RODRIGUES E IEMMA, 2014).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 MATERIAIS

Para esse estudo, foram utilizadas as fibras potencialmente prebióticas **Xilo Oligossacarídeo 95%** (XOS), lote: 20201002036; **Isomalto Oligossacarídeo 900** (IMO), lote: 20210723037; **leite em pó desnatado** da marca Piracanjuba®, lote: 2143B41; **açúcar refinado** da marca União®; **sorbato de potássio** 15125214164, , lote: 0000575741; o fermento para o inóculo era o **YF-L812** *Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus* e *Streptococcus thermophilus*, lote: 5 PI EU EN; a **água** utilizada nas formulações foi mineral da marca Bioleve®, envasada em galões de 20 litros.

Para o envase das formulações destinadas às análises reológicas, foram utilizadas 54 embalagens plásticas (PET) no formato de garrafas de 500ml para os dias 07, 30 e 45 de análise após o preparo. Para as análises de pH, as formulações foram divididas em frascos de vidro de 50ml com tampa metálica, separados em um frasco para cada formulação em cada dia, totalizando 68 frascos, divididos em 4 frascos para cada formulação, que representavam os dias 07, 15, 30 e 45, após preparo.

Para o envase e realização das análises de sinérese, foram utilizadas 03 provetas de vidro graduadas, com base plástica encaixada, na cor vermelha, para cada formulação, com 50ml de volume cada proveta. Após o envase das formulações, cada proveta foi fechada com alumínio laminado e fita adesiva, para evitar contato com o ambiente externo.

4.1.1 Amostras

Foram preparadas 17 formulações conforme um planejamento Delineamento Composto Central Rotacional (DCCR) com 17 ensaios incluindo três pontos centrais (Rodrigues & Costa, 2022), selecionando como variáveis, o percentual de cada fibra potencialmente prebiótica (XOS e IMO), de proteína de leite e açúcar.

Vale ressaltar que o planejamento experimental foi montado considerando como níveis do planejamento (-1 e +1 e α) **o % de proteína**. Como a proteína é oriunda do leite em pó desnatado (LPD), a quantidade de LPD de cada ensaio teve que ser calculada para prover a respectiva porcentagem de proteína do planejamento. Para isso considerou-se os seguintes cálculos e informações:

- Leite em pó desnatado com **35,2 g proteína /100 g LPD**; **3,32 g/100g de umidade (Análise de Extrato Seco e Umidade segundo INTERNATIONAL DAIRY FEDERATION, 2010)** e, portanto, **96,68 g sólidos totais /100g de LPD**. Relação proteína/sólidos totais = 0,3640

$$Rel \frac{P}{ST} = \frac{35,2}{96,68} = 0,3640 \frac{\text{proteína}}{\text{sólidos totais}}$$

- Umidades do açúcar e das e fibras potencialmente prebióticas desprezível, isto é, foram considerados 100% sólidos.

Para exemplificar, segue a sequência de cálculos para determinação da quantidade de leite em pó desnatado, água, açúcar e fibra potencialmente prebiótica para cada 100g de amostra da formulação do ponto central com 3,75% de fibra potencialmente prebiótica (FPP); 5% de açúcar e 3,3 % de proteína:

- * FPP (3,75%) = 3,75 g /100 g formulação
- Açúcar (5%) = 5,0 g /100 g formulação
- Proteína(3,3%) - Vem dos sólidos do LPD:

$$g \text{ LPD} = \frac{3,30 \% P}{35,2 g P / 100g} = 9,375 g \text{ LPD}$$

- Água(complementa 100%) = 100 – FPP – Açúcar – Proteína
* = Fibra Potencialmente Prebiótica

Foi preparado um total de 1960 g de cada formulação. A cada uma delas foi somado 40g de inóculo.

4.1.2 Equipamentos

Todos os procedimentos e análises foram realizados nas dependências do Centro de Tecnologia de Laticínios e Bactérias Lácteas (Tecnolat), no Instituto de Tecnologia de Alimentos, localizado em Campinas-SP. Os equipamentos utilizados no projeto estão descritos abaixo:

- Reômetro (BROOKFIELD Eng. Labs, Brookfield R/S+ Rheometer, SN 7023123 - Operating Instructions. Manual N° M08-219; Middleboro, USA: Brookfield Engineering Laboratories Inc., 2012) operado por software Rheo 3000, v.1.2 e Sistema de cilindros concêntricos denominado de CCT 45

- Banho Termostático BROOKFIELD, modelo TC 550MX;
- Banho Termostático MARCONI, modelo MA-184;
- Banho Termostático QUIMIS, modelo 0215M2;
- Fluxo Laminar VECO, modelo HLSF-18;
- Balança semi-análítica METTLER, modelo PC 2000;
- Balança semi-análítica MICRONAL, modelo B4000;
- Termômetro de mercúrio INCOTERM;
- Medidor de temperatura digital TESTO, modelo testo 925;
- Medidor de pH TECNAL, modelo TEC-7/2;
- Medidor de pH TECNAL, modelo TEC-7;
- Agitador IKA Laboratory Equipment, modelo de haste com hélice;
- Câmara Fria com controle de temperatura;
- Estufa Incubadora DBO ELETROLAB.

4.2 MÉTODOS

4.2.1 Planejamento experimental

Utilizando com referência o trabalho de iniciação científica de BRITO *et al* (2021), foi realizado um planejamento DCCR com 17 ensaios incluindo três pontos centrais para cada prebiótico (XOS e IMO), onde foram analisados os efeitos em ambos prebióticos, do açúcar e da proteína. As variáveis respostas a serem estudadas foram pH, sinérese e viscosidades a 50 e 100 s⁻¹. O volume preparado de cada amostra foi de 2000mL, quantidade necessária de amostra para as análises.

Estão dispostas, na **Tabela 1** os valores dos níveis inferiores (-1) e superiores (+1) das variáveis das formulações e seus pontos axiais $-\alpha$ e $+\alpha$, em percentuais para as 3 variáveis estudadas, nos ensaios com a fibra prebiótica **XOS** e **IMO**

Tabela 1. Valores percentuais dos níveis superiores (+1), inferiores (-1) e amplitude ($-\alpha$ e $+\alpha$) do planejamento experimental DCCR.

		-alfa	-1	PC	1	+alfa
	Variáveis	-1,68	-1,00	0,00	1,00	1,68
X1	Prebiotico	2,50	3,01	3,75	4,49	5,00
X2	Açucar	0,00	2,03	5,00	7,97	10,00
X3	proteina	1,60	2,29	3,30	4,31	5,00

Os 17 ensaios, incluindo os valores dos pontos axiais e volume de água utilizado em cada formulação estão apresentados na **Tabela 2**.

Foram realizadas ao longo de 45 dias, análises de pH nos dias 0 (dia de produção das amostras), 07, 15, 30 e 45. Também foram realizadas análises de sinérese nos dias 07, 15, 30 e 45. Em função da complexidade operacional e do volume das formulações os estudos reológicos foram realizados nos dias 07, 30 e 45, na temperatura de 10°C, durante o período de trabalho, as formulações foram armazenadas a 4°C em câmara fria.

Tabela 2. Planejamento experimental DCCR das formulações estudadas no projeto considerando as variáveis X1 = prebiótico; X2 = teor de açúcar e X3 = teor de proteína de cada formulação com 2000ml.

Formulações	PLANEJAMENTO 2 ³ COMPLETO						Água Inoculo (g)	LPD Inoculo (g)	Inoculo (2%) (g)	40	lática Mistura (g)	2000 1960	água mistura					
	X1	X2	X3	X1	X2	X3							Prebiótico (g)	açúcar (g)	LPD (g)	(mL)**	total (mL)	Total (g)
	Prebiótico	Açúcar	Proteína	Prebiótico %	Açúcar %	Proteína %												
F0	Não possui	0	0	0,00	5,00	3,30	36,4	3,6	0,0	98,0	183,8	1678,2	1960,0	2000,0				
F1	-1	-1	-1	3,01	2,03	2,29	36,4	3,6	58,9	39,7	127,5	1733,9	1960,0	2000,0				
F2	1	-1	-1	4,49	2,03	2,29	36,4	3,6	88,1	39,7	127,5	1704,7	1960,0	2000,0				
F3	-1	1	-1	3,01	7,97	2,29	36,4	3,6	58,9	156,3	127,5	1617,3	1960,0	2000,0				
F4	1	1	-1	4,49	7,97	2,29	36,4	3,6	88,1	156,3	127,5	1588,2	1960,0	2000,0				
F5	-1	-1	1	3,01	2,03	4,31	36,4	3,6	58,9	39,7	240,0	1621,3	1960,0	2000,0				
F6	1	-1	1	4,49	2,03	4,31	36,4	3,6	88,1	39,7	240,0	1592,2	1960,0	2000,0				
F7	-1	1	1	3,01	7,97	4,31	36,4	3,6	58,9	156,3	240,0	1504,8	1960,0	2000,0				
F8	1	1	1	4,49	7,97	4,31	36,4	3,6	88,1	156,3	240,0	1475,6	1960,0	2000,0				
F9	-1,68	0	0	2,50	5,00	3,30	36,4	3,6	49,0	98,0	183,8	1629,3	1960,0	2000,0				
F10	1,68	0	0	5,00	5,00	3,30	36,4	3,6	98,0	98,0	183,8	1580,3	1960,0	2000,0				
F11	0	-1,68	0	3,75	0,00	3,30	36,4	3,6	73,5	0,0	183,8	1702,8	1960,0	2000,0				
F12	0	1,68	0	3,75	10,00	3,30	36,4	3,6	73,5	196,0	183,8	1506,8	1960,0	2000,0				
F13	0	0	-1,68	3,75	5,00	1,60	36,4	3,6	73,5	98,0	89,1	1699,4	1960,0	2000,0				
F14	0	0	1,68	3,75	5,00	5,00	36,4	3,6	73,5	98,0	278,4	1510,1	1960,0	2000,0				
PC01 (F15)	0	0	0	3,75	5,00	3,30	36,4	3,6	73,5	98,0	183,8	1604,8	1960,0	2000,0				
PC02 (F16)	0	0	0	3,75	5,00	3,30	36,4	3,6	73,5	98,0	183,8	1604,8	1960,0	2000,0				
PC03 (F17)	0	0	0	3,75	5,00	3,30	36,4	3,6	73,5	98,0	183,8	1604,8	1960,0	2000,0				

Os resultados do planejamento experimental foram tratados no Software *Protimiza Experimental Design* (Rodrigues & Costa, 2022), para avaliação do efeito das variáveis dependentes: X_1 (prebiótico); X_2 (açúcar) e X_3 (proteína), nas variáveis respostas:

- pH no tempo de armazenamento de **(Y₁) 0, (Y₂) 07, (Y₃) 15, (Y₄) 30 e (Y₅) 45** dias.
- Sinérese no tempo de armazenamento de **(Y₁) 07, (Y₂) 15, (Y₃) 30 e (Y₄) 45** dias.
- Viscosidade aparente em 50⁻¹ no tempo de armazenamento de **(Y₁) 07, (Y₂) 30 e (Y₃) 45** dias.
- Viscosidade aparente em 50⁻¹ e 100 s⁻¹, no tempo de armazenamento de **Y₁) 07, (Y₂) 30 e (Y₃) 45** dias.

Para todas essas respostas, foi realizada a regressão e foram verificadas as variáveis e interações de primeira e segunda ordem significativas. Em seguida, foram geradas as tabelas com Análise de Variância (ANOVA) e construídos os Diagramas de Pareto e os gráficos de valores preditos e experimentais, para isso, foi considerado o nível de significância de **0,1 ou $\alpha=10\%$** . A existência ou não de um modelo matemático preditivo para cada uma destas respostas foi considerada quando foram constatados:

- Altos valores dos seus coeficientes de correlação (R^2 próximos de 100%).;
- $F_{\frac{\text{regressão}}{\text{resíduos(calculado)}}} > F_{\frac{\text{regressão}}{\text{resíduo(tabelado)}}$
- $F_{\frac{\text{falta de ajuste}}{\text{erro puro(calculado)}}} < F_{\frac{\text{falta de ajuste}}{\text{erro puro(tabelado)}}$

4.2.1 Preparo das formulações bebidas lácteas fermentadas.

Foram adicionadas as quantidades de ingredientes pré-definidas no planejamento experimental, além da água. As ilustrações das etapas de pesagem estão nas **Figuras 01 e 02**.

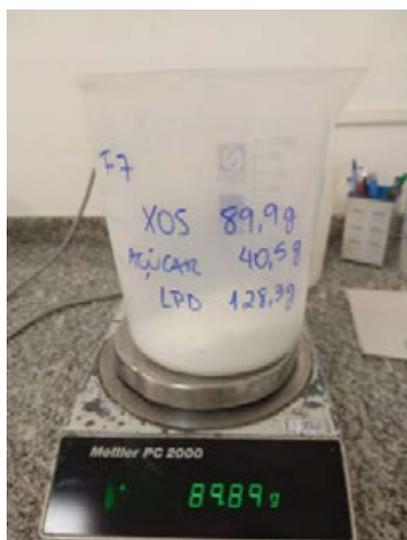


Figura 1. Formulação XOS-F7 no momento da pesagem, com o valor dos ingredientes anotados no próprio becker.



Figura 2. Formulação XOS-PC01, após a pesagem da água que foi adicionada a mistura.

A etapa inicial dos experimentos consistiu na produção de amostras das bebidas lácteas fermentadas com dissolução dos ingredientes leite em pó desnatado, fibra e açúcar (dependendo da formulação), seguido do tratamento térmico de 90°C por 5 min realizados em forno micro-ondas, resfriamento em banho termostático até atingir a temperatura entre 43 e 45°C, inoculação com o fermento **YF-L812** *Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus* e *Streptococcus thermophilus*, previamente ativado e incubação em estufa incubadora DBO, monitorando o pH a partir de três horas de armazenamento em pHmetro digital, até que atingissem o pH 4,6, em seguida foi realizado o de resfriamento até aproximadamente 20°C em banho de gelo, todas as etapas de controle de temperatura foram feitas com termômetros de mercúrio. O preparo das formulações seguiu o fluxograma descrito nas etapas da **figura 3**.

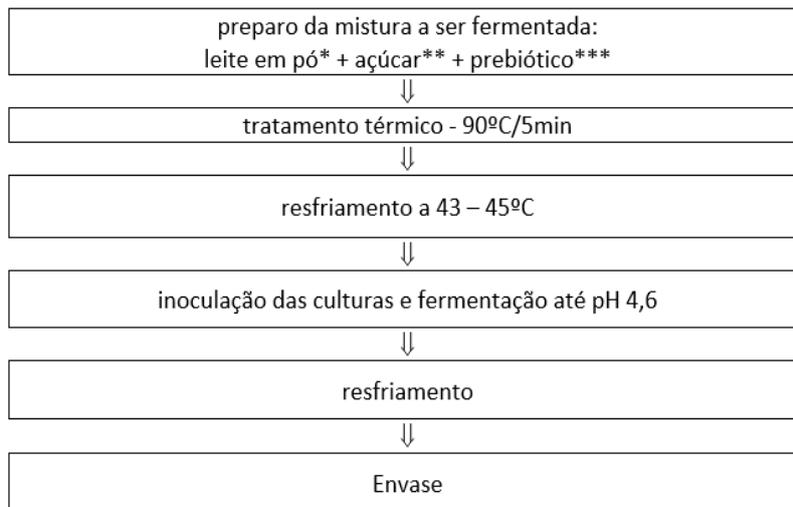


Figura 3. Fluxograma descritivo das etapas de produção de bebidas lácteas/iogurtes.

*quantidade estabelecida no planejamento experimental e para atingir teores proteicos mínimos estabelecidos nas Instruções Normativas desses produtos ** quantidade estabelecida no planejamento experimental *** quantidade estabelecida no planejamento experimental em função da quantidade mínima para atender o quesito fonte de fibra).

As **figuras 04, 05 e 06** são referentes as etapas de incubação a 43°C, resfriamento até atingir 20°C para envase e pós envase, respectivamente.



Figura 4. Formulações durante o processo de incubação a 43°C em estufa B.O.D.



Figura 5. Formulação sendo submetida a resfriamento forçado em banho de água fria, logo após a etapa de incubação, até atingir 20°C.



Figura 6. Exemplo de formulação XOS-F1, após o envase nas embalagens para armazenamento e realização das análises reológicas, pH e sinérese.

4.2.2 Análise reológica

Os estudos reológicos foram realizados em um reômetro (Brookfield Eng. Labs. Inc, modelo R/S+ Rheometer SST, SN 7023123) operado pelo Software Rheo 3000, v.1.2, utilizando o sistema de cilindros concêntricos denominado de CCT 45 (Brookfield, 2012), acoplado a um banho termostático (Marconi, modelo MA-184 ou Brookfield, modelo TC 550MX), que manteve a temperatura da análise. Os ensaios foram conduzidos seguindo os parâmetros da faixa de taxa de deformação ascendente entre 0 e 100 s⁻¹, na temperatura de 10°C, que segundo a Instrução Normativa nº 16, de 23 de agosto de 2005, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, “item 4,4”, é a temperatura máxima de conservação e consumo. Após transferência da amostra para o copo do reômetro, ela permaneceu entre 5 e 10 minutos aproximadamente para estabilização de sua temperatura em suporte encamisado, com circulação de água na temperatura de análise. Neste período a amostra foi mantida em repouso. Os dados de

tensão de cisalhamento x taxa de deformação foram ajustados ao modelo da Lei da Potência ou Modelo de Ostwald DeWale (Eq.1), usual para representar fluidos alimentícios. Neste ajuste foram determinados os parâmetros índice de consistência do fluido (K) e de comportamento de fluxo (n). Os valores de viscosidade aparente foram calculados para taxas de deformação pertencentes à faixa experimental aplicada nos ensaios através da Equação 2.

$$\tau = K\dot{\gamma}^n \quad (1)$$

K = Índice de consistência do fluido (Pa.s)

$$\eta_{ap} = K \dot{\gamma}^{n-1} \quad (2)$$

n = Índice de comportamento do fluido (adimensional)

τ = Tensão de cisalhamento (Pa)

$\dot{\gamma}$ = Taxa de deformação (s^{-1})

η_{ap} = Viscosidade aparente (Pa.s)

O coeficiente de correlação do ajuste (R^2), o desvio padrão entre as repetições e o desvio padrão residual (RSD, *Residual Standard Deviation*) foram os parâmetros estatísticos utilizados para avaliar o ajuste do modelo matemático. Valores de R^2 próximos de uma unidade e baixos valores de desvio padrão da média indicam um bom ajuste. O cálculo do RSD utilizou os valores da tensão de cisalhamento experimentais (τ_i) e preditas pelo modelo (τ_{pi}) e o número de pontos experimentais (N), conforme a Equação 3. A Equação 4 mostra o cálculo do valor percentual de RSD em relação ao valor médio dos valores experimentais da tensão de cisalhamento (τ_i). Para modelagens em bioprocessos, valores de RSD menores que 10% indicam boa capacidade de predição da equação ajustada (Atala, 2001).

$$RSD = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^N (\tau_i - \tau_{pi})^2}}{N} \quad (3).$$

$$RSD (\%) = \frac{RDS}{\tau_i} * 100 \quad (4).$$

4.2.3 Medição do pH

O método usado para medidas de pH está em Instituto Adolfo Lutz (2008) e o equipamento utilizado foi o PHmetro modelo TEC-7, da marca Tecnal, fabricado em Piracicaba-SP.

As amostras ficaram armazenadas em câmara fria à 4°C até o dia das análises, todas devidamente identificadas. A leitura do pH se deu nas próprias embalagens em que as foram armazenadas, uma vez que todas tinham o volume de 50 ml, sendo assim, foram retiradas do armazenamento apenas as amostras que seriam analisadas, quando atingissem aproximadamente 20°C, nos dias 07, 15, 30 e 45 após sua formulação.

4.2.4 Determinação de sinérese

As determinações de sinérese das formulações estudadas basearam-se no procedimento descrito em KOKSOY & KILIC (2004), que consiste em manter a amostra em uma proveta de 50 ml sob refrigeração à temperatura de 4°C durante 15 dias, para observar a quantidade de soro separado.

Para os experimentos desse projeto, foi adaptado o modelo de separação instantânea dos géis ácidos de leite por um período de 45 dias. Na sequência foram armazenados em câmara fria na temperatura de 4°C, utilizando provetas volumétricas de vidro transparente de 50mL de volume, da seguinte forma:

- Ao longo de 45 dias, foi separado o volume total de 150 mL de cada formulação e distribuída em 3 provetas graduadas com volume total de 50 mL cada, com o número da formulação e cada proveta recebia a identificação adicional **R1, R2 e R3**, vedadas com folha de alumínio na boca de cada proveta para evitar contaminação com ambiente. Foram escolhidos os dias 07, 15, 30 e 45 de armazenamento, a partir da data de envase para registrar, por imagem e transcrição do valor da separação visível dos géis de soro em mililitros(mL).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A seguir estão apresentados os resultados obtidos de pH, sinérese e reologia das formulações XOS e IMO, ao longo de 45 dias de avaliação.

Os dados estão apresentados em formato de Tabelas e Figuras, além de imagens das provetas em que foram observadas a sinéreses, com o objetivo de comparar as interações e características que se destacaram na observação dos resultados. Várias dessas imagens foram agrupadas no Anexo.

Os resultados estão apresentados para avaliar o efeito das variáveis proteína, açúcar e as fibras potencialmente prebióticas XOS ou IMO e suas interações nas variáveis dependentes, pH, sinérese e viscosidade, ao longo da vida de prateleira dos produtos.

Foi realizada uma formulação padrão, identificada como F0 (s/ prebiótico), formulada sem nenhum percentual de fibra, com a finalidade de identificar alguma correlação no comportamento das formulações sem a presença de XOS ou IMO.

5.1 FORMULAÇÃO COM XOS

5.1.1 Análise de pH.

Na **Tabela 03** estão apresentados os valores de pH a 20°C nas formulações das bebidas lácteas fermentadas contendo **Xilo oligossacarídeos (XOS)**. Na **Figura 07** está o gráfico de pH das 17 formulações com XOS, ao longo de 45 dias de armazenamento a 4°C.

Os resultados apresentam as variações do pH de todas as formulações. O maior valor de pH constatado imediatamente após o preparo (**0 dias**) foi da formulação com maior teor de proteína (F14) de 4,81, enquanto o valor mínimo foi 4,66 (F10) e o valor médio de todas as formulações foi de 4,72. Após **07 dias** de armazenamento, foi observado que a formulação F14 (com maior teor proteico), teve um aumento do valor de pH enquanto o pH das demais formulações diminuíram, sendo registrados valores entre 4,33 (F2) e 4,87 (F14), com um valor médio de 4,53. Nas análises realizadas após **15 dias** de armazenamento, foi observado o decréscimo nos valores em todas as formulações, com variação entre 4,30 (F1) e 4,71 (F14), com um valor médio de 4,42. Comportamento semelhante foi observado aos **30 dias**, com variação entre 4,30 (F2) e

4,67 (F14), e valor médio de 4,42. Nas análises aos **45 dias**, foi observada menor variabilidade dos valores, com valores de 4,24 (F1) e 4,50 (F14), com valor médio de 4,37. Na formulação F0, foi possível identificar uma estabilidade nos valores de pH ao longo dos ensaios, com uma variação de 0,04 entre os dias 07 e 45, aspecto diferente em relação as formulações com XOS, onde tal variação chegou ser de até 0,37 na amostra F14.

Tabela 3. Valores de pH das formulações com fibra prebiótica XOS realizados ao longo de 45 dias a partir do preparo com X1 = Fibra XOS, X2 = açúcar e X3 = Proteína.

Formulações	pH da XOS							
	X1	X2	X3	dia 0 (Y1)	dia 7 (Y2)	dia 15 (Y3)	dia 30 (Y4)	dia 45 (Y5)
F0 *	ñ	0	0	4,51	4,51	4,52	4,51	4,55
F1	-1	-1	-1	4,67	4,42	4,30	4,31	4,24
F2	1	-1	-1	4,68	4,33	4,33	4,30	4,37
F3	-1	1	-1	4,75	4,40	4,36	4,32	4,33
F4	1	1	-1	4,74	4,43	4,45	4,37	4,38
F5	-1	-1	1	4,75	4,51	4,51	4,50	4,49
F6	1	-1	1	4,74	4,43	4,45	4,37	4,30
F7	-1	1	1	4,77	4,71	4,43	4,47	4,31
F8	1	1	1	4,74	4,68	4,50	4,44	4,33
F9	-1,68	0	0	4,73	4,42	4,33	4,40	4,33
F10	1,68	0	0	4,66	4,53	4,38	4,38	4,34
F11	0	-1,68	0	4,72	4,55	4,44	4,43	4,42
F12	0	1,68	0	4,71	4,53	4,38	4,38	4,32
F13	0	0	-1,68	4,71	4,55	4,43	4,38	4,36
F14	0	0	1,68	4,81	4,87	4,71	4,67	4,50
PC01 (F15)	0	0	0	4,71	4,55	4,41	4,43	4,41
PC02 (F16)	0	0	0	4,69	4,58	4,37	4,40	4,44
PC03 (F17)	0	0	0	4,72	4,56	4,44	4,44	4,43

*Formulação sem fibra prebiótica e com valores percentuais (%) de açúcar e proteína semelhantes aos utilizados nas formulações de ponto central.

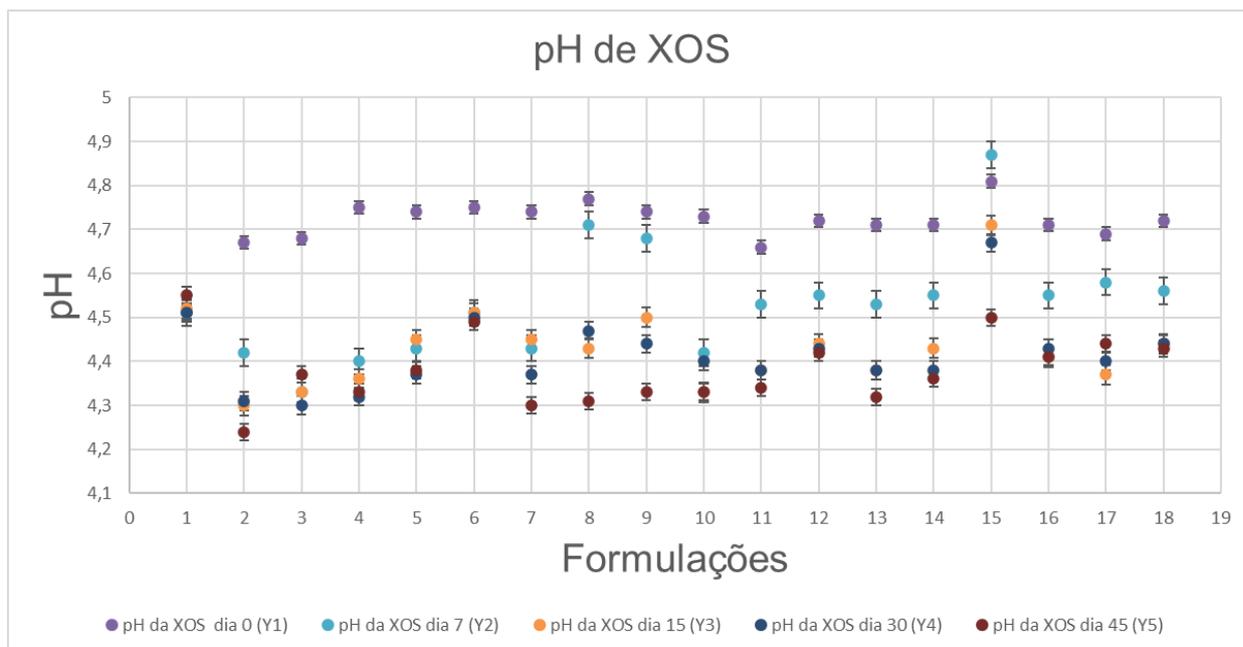


Figura 7. Gráfico com a evolução do pH das formulações XOS ao longo de 45 dias de armazenamento, com leitura a 20°C.

5.1.1.1 Avaliação Estatística do efeito das variáveis XOS, açúcar e proteína sobre o pH das formulações

A seguir são apresentados os resultados do planejamento experimental tratados no Software *Protimiza Experimental Design* (Rodrigues & Costa, 2022), para avaliação do efeito das variáveis dependentes: X_1 (prebiótico); X_2 (açúcar) e X_3 (proteína) na variável resposta pH no tempo de armazenamento de **(Y₁) 0, (Y₂) 07, (Y₃) 15, (Y₄) 30 e (Y₅) 45 dias.**

A seguir é apresentada esta sequência de análise, realizada para a variável **Y₁** (pH no 0 dia de armazenamento).

Na **Figura 08**, estão apresentados o gráfico que relaciona os valores experimentais e preditos e o Diagrama de Pareto considerando o nível de significância de **$\alpha=10\%$** com seus efeitos significativos padronizados (valor **$t_{calculado}$**): a média dos efeitos ($\mu = 726,09$), as variáveis de primeira ordem ($X_1 = -2,17$, $X_2 = 1,97$ e $X_3 = 4,51$), de segunda ordem ($X_3^2 = 3,63$), e a interação ($X_2 \cdot X_3 = -2,15$).

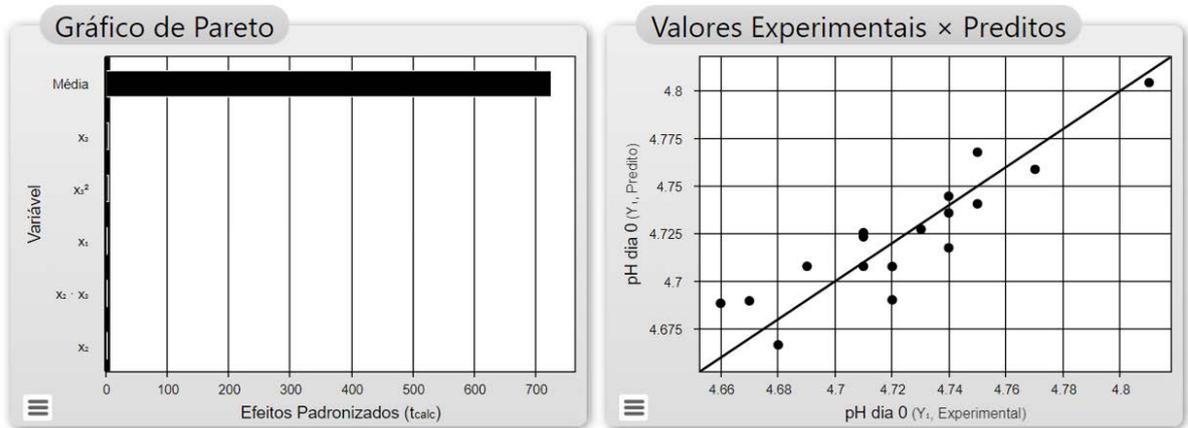


Figura 8. Diagrama de Pareto das interações das formulações com a fibra prebiótica XOS nas análises de pH na data da preparação (Fonte: Protimiza, 2022).

A análise de variância (**Anova**), **Figura 09**, indicou uma porcentagem de variação explicada (**R²**) de 80,94% *F-calculado* para a regressão/resíduos (**F_{reg/res(calc)} = 9,3**) com p-valor significativo de 0,00111. Este valor é 3,8 maior que o valor de *F-tabelado* com nível de significância de **α=10%**, de (**F_{reg/res(tab)} = 2,45**). Para o valor de *F-calculado* da falta de ajuste/erro puro, tem-se um valor (**F_{fa/ep(calc)} = 1,8**) menor que o *F-tabelado* (**F_{fa/ep(tab)} = 9,38**) com nível de significância de **α=10%** (Rodrigues e lemma, 2014).

ANOVA

Fonte de Variação	Soma dos Quadrados	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	F _{calc}	p-valor
Regressão	0,0	5	0,0	9,3	0,00111
Resíduos	0,0	11	0,0		
Falta de Ajuste	0,0	9	0,0	1,8	0,40617
Erro Puro	0,0	2	0,0		
Total	0,0	16			

R² = 80,94%

Figura 9. Análise de Variância (Anova) das interações das formulações com a XOS, nas análises de pH logo após a preparação, considerado dia 0 (Fonte: Protimiza, 2022).

Apesar do valor de *F-calculado* da regressão/resíduo ser maior que o *F-tabelado*, o R² (80,94%) do ajuste do modelo está bem menor que o valor desejado, que seria próximo de 100 %.

O modelo gerado pelo software, com R² de 80,94 apresentou os coeficientes referentes aos termos considerados significativos na análise de Pareto: **Y₁ = 4,71 +**

$0,01X_1 + 0,01 X_2 + 0,02 X_3 + 0,02 X_3^2 + 0,02 X_2 X_3$. Porém, como o R^2 está muito abaixo de 100%, considerou-se não adequado para gerar a superfície de resposta.

Esta mesma análise e avaliação de resultados foi realizada para as outras respostas relacionadas ao pH medidos nos dias 7 (Y_2), 15 (Y_3), 30 (Y_4), e 45 (Y_5) dias. Os respectivos gráficos de Pareto, valores preditos e observados, além das tabelas de Análise de Variância (ANOVA), estão todos detalhados e apresentados no Anexo. A seguir está apresentada a **Tabela 04**, com resumo destes resultados.

Pequenas variações em medidas de pH em uma mesma amostra podem ser constatadas, sendo provenientes das incertezas de medição do equipamento e método de análise. Os valores do planejamento somam todas as variações, inclusive as decorrentes das diferentes formulações. A falta de capacidade de predição de modelo pode ser explicada pelo fato de as variáveis dependentes das formulações não terem sido significativas o suficiente para a identificação de uma clara tendência do comportamento do pH.

Ao longo dos 45 dias da vida de prateleira, as médias dos valores de pH sofreram um pequeno decréscimo, como é esperado para um produto fermentado. Porém os efeitos significativos variaram nos períodos de análise, não demonstrando também, que possam delinear matematicamente esta tendência. Esse raciocínio corrobora com os baixos valores de R^2 dos ajustes.

Desta maneira, nenhuma superfície de resposta foi gerada das avaliações do pH. Estes resultados indicam que a adição da XOS não afetou significativamente as características das bebidas lácteas fermentadas produzidas quanto ao seu pH ao longo da vida de prateleira do produto. Este é um resultado positivo visto que é interessante a adição de ingredientes com potenciais benefícios a saúde não estar atrelada a modificações significativas das características originais do alimento de referência, e sim apenas a seu objetivo funcional.

Tabela 4. Resumo do resultado do tratamento estatístico dos valores de pH.

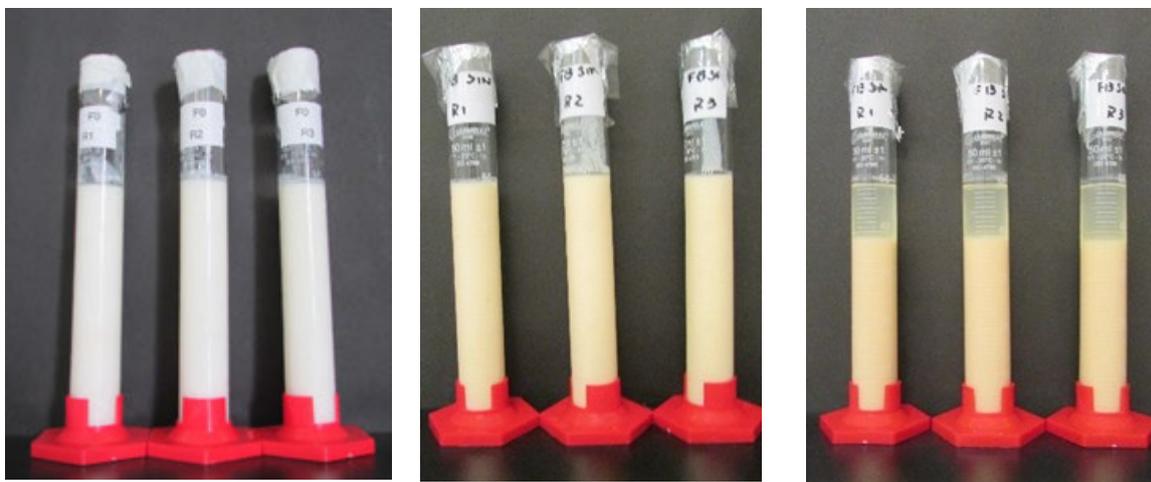
	Y ₁	Y ₂	Y ₃	Y ₄	Y ₅
Respostas	pH (0 dia)	pH (7° dia)	pH (15° dia)	pH (30° dia)	pH (45° dia)
pH F0	4,51	4,51	4,52	4,51	4,55
pH mínimo	F10 = 4,66	F2 = 4,33	F1 = 4,30	F2=4,30	F1=4,24
pH máximo	F14 = 4,81	F14 = 4,87	F14 = 4,71	F14=4,67	F14=4,50
pH médio	4,72	4,53	4,42	4,41	4,37
Efeitos significativos	X ₁ =-2,17 X ₂ =1,97 X ₃ =4,51 X ₃ ² =3,63 X ₂ .X ₃ =-2,15	X ₁ ² =-2,01 X ₃ =3,76	X ₁ ² =-1,76 X ₃ =5,33 X ₃ ² =3,95	X ₃ =5,23 X ₃ ² =2,40	X ₁ ² =-1,95 X ₁ . X ₃ =-2,09
Média dos efeitos	726,09	149,95	217,47	265,95	255,52
$\frac{F_{reg/res(calc)}}{F_{reg/res(tab)}}$	$\frac{9,3}{2,45} = 3,8$	$\frac{9,1}{2,73} = 3,3$	$\frac{17,1}{2,56} = 6,7$	$\frac{16,6}{3,73} = 4,5$	$\frac{4,1}{3,73} = 3,3$
$\frac{F_{fa/ep(calc)}}{F_{fa/ep(tab)}}$	$\frac{1,8}{9,38} = 0,2$	$\frac{42,8}{9,41} = 4,5$	$\frac{1,9}{9,40} = 0,2$	$\frac{6,6}{9,41} = 0,70$	$\frac{17,4}{9,41} = 1,8$
R²	80,94	56,53	79,82	70,29	36,81
Modelo	Y ₁ = 4,71 + 0,01X ₁ + 0,01 X ₂ + 0,02 X ₃ + 0,02 X ₃ ² + 0,02 X ₂ X ₃	Y ₂ = 4,57 - 0,05 X ₁ ² + 0,09X ₃	Y ₃ = 4,40 - 0,02 X ₁ ² + 0,07X ₃ + 0,05 X ₃ ²	Y ₄ = 4,38 + 0,07X ₃ + 0,03 X ₃ ²	Y ₄ = 4,40 - 0,03 X ₁ ² - 0,04 X ₁ X ₃
Gerou a superfície?	Não	Não	Não	Não	Não

5.1.2 Análise de sinérese ao longo dos 45 dias

A seguir estão os valores de separação de soro (sinérese) das 17 formulações com Xilo oligossacarídeos (XOS) desenvolvidas e analisadas ao longo de 45 dias.

Após o preparo, foram armazenadas em câmara fria com temperatura de 4°C, que se enquadra na Instrução Normativa nº16 de 23/08/05 do MAPA, para avaliação nos dias 07, 15, 30 e 45 de armazenamento. Nestes dias, foi avaliado o comportamento das formulações quanto a separação de soro ao longo do período. Nas datas pré-determinadas, foram coletadas as imagens da triplicata de cada formulação e avaliados os volumes de separação em mL, ou seja, os valores de sobrenadante referentes a cada proveta das formulações estudadas.

Para exemplificação do fenômeno da sinérese constatado nas amostras, a seguir estão as figuras **10a**, **10b** e **10c** registradas de três formulações, uma sem fibra (**F0**) e duas com XOS (F8 e F13) no 7º dia de armazenamento, com os níveis mais antagônicos de sinérese. As demais figuras estão apresentadas no Anexo desta dissertação. Nesta Figura 10 pode-se verificar a variação de cor com adição do XOS.



(a) **F0: 0,33 ml**

(b) **F8: sem sinérese**

(c) **F13: 11,33 ml**

Figura 10. Registro da avaliação da sinérese das formulações com XOS após 7 dias de armazenamento. (a) Formulação F0 (ñ, 0, 0)* apresentou 0,33 mL de sinérese; (b) Formulação F8 (+1, +1, +1)* não sofreu sinérese (c) Formulação F13 (0, 0, -1,68)* apresentou 11,33 mL de sinérese. * = (X1, X2, X3).

A **Tabela 05** resume os resultados das médias de sinérese para a triplicata da formulação sem fibra e das 17 formulações com XOS nos dias 07, 15, 30 e 45. Os valores

médios foram expressos em mililitros (mL) e em porcentagem, levando em consideração o volume total de cada proveta e a separação de soro visível na data da coleta. **Figura 11** apresenta os resultados médios em mililitros em forma de gráfico.

Tabela 5. Resultados de sinérese para as formulações com XOS e formulação sem fibra ao longo de 45 dias de armazenamento a 4°C, com X1= XOS, X2 = Açúcar e X3 = Proteína.

Formulações	Sinérese XOS						
	X1	X2	X3	em mL Y1 (07 dias)	em mL Y2 (15 dias)	em mL Y3 (30 dias)	em mL Y4 (45 dias)
F0 *	ñ	0	0	0,33	0,67	1,33	2,00
F1	-1	-1	-1	6,33	8,00	9,33	10,33
F2	1	-1	-1	5,00	8,00	9,00	10,00
F3	-1	1	-1	4,00	7,00	8,00	9,00
F4	1	1	-1	3,33	6,00	7,00	9,00
F5	-1	-1	1	1,00	2,00	3,00	3,00
F6	1	-1	1	0,33	1,00	1,33	2,33
F7	-1	1	1	0,66	0,00	1,00	1,00
F8	1	1	1	0,00	0,00	1,00	1,00
F9	-1,68	0	0	2,66	3,66	4,66	5,67
F10	1,68	0	0	1,66	2,33	3,00	3,67
F11	0	-1,68	0	4,33	5,33	6,66	6,67
F12	0	1,68	0	1,33	3,66	2,66	3,00
F13	0	0	-1,68	11,33	13,66	15,66	16,67
F14	0	0	1,68	0,00	1,33	3,33	4,00
PC01	0	0	0	2,00	3,00	5,00	5,67
PC02	0	0	0	2,00	2,66	4,33	5,00
PC03	0	0	0	2,33	3,33	4,66	5,00

*Formulação sem fibra prebiótica e com valores percentuais (%) de açúcar e proteína semelhantes aos utilizados nas formulações de ponto central.

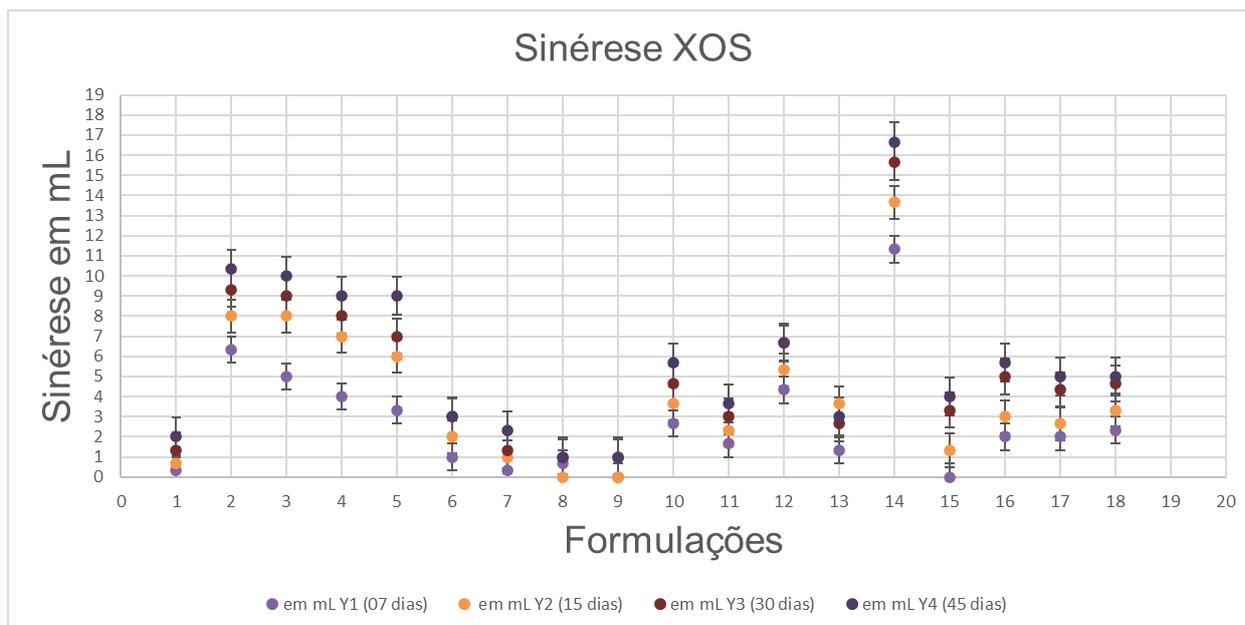


Figura 11. Gráfico com os valores percentuais de sinérese das formulações de XOS analisadas ao longo de 45 dias de armazenamento a 4°C.

5.1.2.1 Avaliação Estatística do efeito das variáveis no comportamento da sinérese das formulações

Os resultados do planejamento experimental foram tratados para avaliação do efeito das variáveis dependentes: X_1 (prebiótico); X_2 (açúcar) e X_3 (proteína) na variável resposta sinérese no tempo de armazenamento de (Y_1) 07, (Y_2) 15, (Y_3) 30 e (Y_4) 45 dias (Rodrigues & Costa, 2022).

A seguir é apresentada esta sequência de análise, realizada para a variável Y_1 (Sinérese após 7 dias de armazenamento). É possível constatar que houve duas amostras que não apresentaram sinérese (formulações F8 e F14) e a sinérese mais significativa constatada, foi de 11,33 ml (formulação F13). Esse comportamento pode estar associado aos percentuais de proteína (X_3), pois constata-se que quanto maior o teor de proteína, menor a sinérese nas amostras. Este resultado é corroborado por artigos (ROSA, L. S. *et al*, 2018; EGEA, M. B. *et al* 2019) que indicam que quanto maior o teor de proteína láctea em uma formulação, menor a sinérese observada.

Na **Figura 12** está o Diagrama de Pareto, que apresenta os efeitos padronizados do valor de $t_{calculado}$ para a média desses efeitos ($\mu = 5,92$), das variáveis lineares ($X_2 = -2,58$) e ($X_3 = -9,49$) da variável quadrática ($X_3^2 = 3,78$), foram os únicos com valor-p significativos, considerando o nível de significância de $\alpha=10\%$ e o gráfico que relaciona os valores experimentais com os preditos.

O modelo gerado com considerando essas variáveis significativas que representa a sinérese para as formulações com XOS após **07 dias** de armazenamento foi $Y_1 = 1,98 - 0,71 x_2 - 2,62 x_3 + 1,07 x_3^2$.

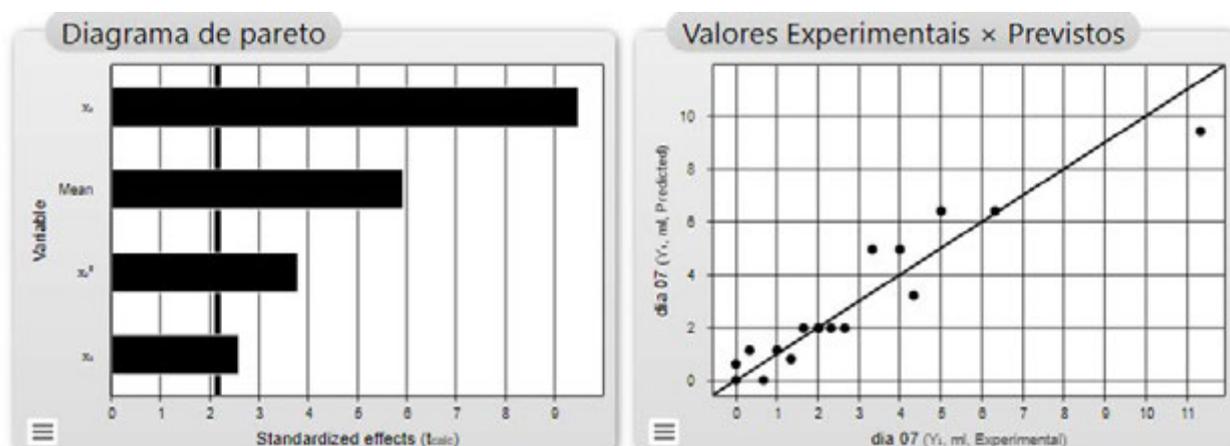


Figura 12. Diagrama de Pareto das interações das formulações com a fibra prebiótica XOS nas análises de sinérese 7 dias após seu preparo (Fonte: Protimiza, 2022).

A **Figura 13**, Análise de Variância (ANOVA) indicou uma porcentagem de variação explicada (R^2) de 89,52% e $F_{reg/res(calc)} = 37$ para o valor do coeficiente de regressão considerado significativo (p -valor = 0,00000), 14,4 vezes maior que o valor do $F_{reg/res(tab)} = 2,56$, nível de significância $\alpha=10\%$. Para o valor de F -calculado da falta de ajuste/erro puro, tem-se um valor ($F_{fa/ep(calc)} = 33,6$) e p -valor de 0,02927. Esse valor é 3,6 vezes maior que o F -tabelado ($F_{fa/ep(tab)} = 9,40$) com nível de significância de $\alpha=10\%$ (Rodrigues e lemma, 2014).

ANOVA					
Fonte de Variação	Soma dos Quadrados	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	F _{calc}	p-valor
Regressão	115,2	3	38,4	37,0	0,00000
Resíduos	13,5	13	1,0		
Falta de Ajuste	13,4	11	1,2	33,6	0,02927
Erro Puro	0,1	2	0,0		
Total	128,7	16			

$R^2 = 89,52\%$

Figura 13. Análise de Variância (Anova) das interações das formulações com a fibra prebiótica XOS nas análises de sinérese 7 dias após seu preparo (Fonte: Protimiza, 2022).

Em função do valor de R^2 relativamente alto, do valor de F -calculado da regressão/resíduo ser maior que o F -tabelado foram geradas as superfícies de respostas

do modelo matemático. O F -calculado da falta de ajuste/erro puro está maior que o tabelado. Ressalta-se, porém que quando o desvio padrão das medidas dos pontos centrais é pequeno, como ocorreu neste caso, o valor calculado se torna alto, mas sem significar necessariamente que o modelo teve um ajuste ruim.

Na **Figura 14**, é possível verificar, através da superfície de resposta da interação entre Açúcar (X_2) e Proteína (X_3), os valores associados a essa interação, indicando que onde há maior percentual das variáveis citadas, foram encontrados os menores valores de separação de soro (sinérese). Neste ponto, é interessante destacar que o açúcar também influenciou a sinérese, já que nas formulações com maior teor de açúcar, a sinérese também foi menor. Isto indica a importância de estudos como este, que auxiliam nos estudos de alterações nas formulações solicitados por acordos de redução de açúcar vigentes no país.

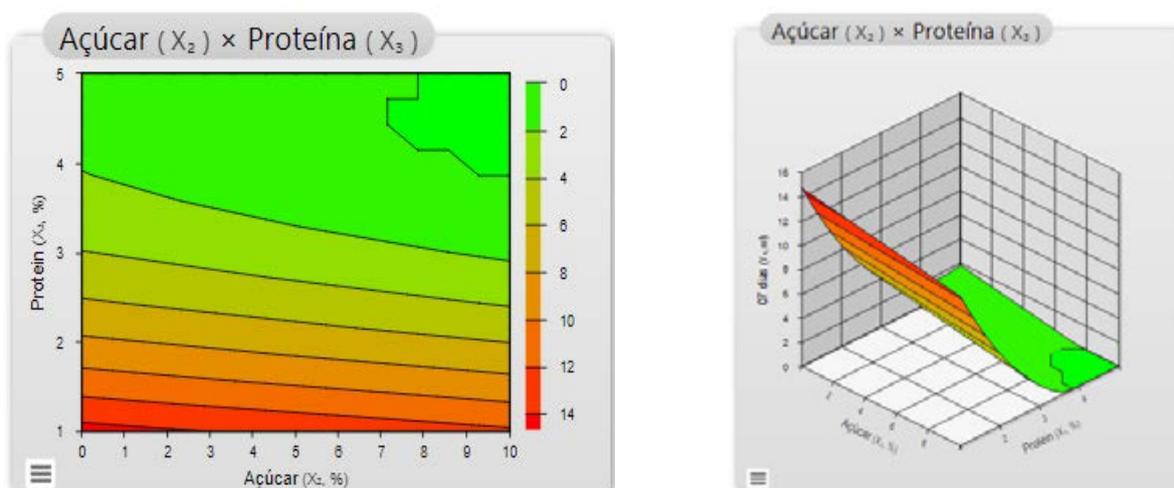


Figura 14. Superfície de resposta da interação Açúcar (X_2) e Proteína (X_3) das formulações com XOS nos resultados de sinérese, 7 dias após o preparo (Fonte: Protimiza, 2022).

Esta mesma análise e avaliação de resultados foi realizada para as outras respostas relacionadas à sinérese medidas nos dias 15, 30 e 45 dias (Y_2 , Y_3 , Y_4). Os respectivos gráficos de Pareto e valores preditos e observados e as tabelas ANOVA estão todos detalhados e apresentados no Anexo. A seguir está apresentada a **Tabela 06**, com resumo destes resultados.

Como era esperado, observou-se que a formação de soro aumentou ao longo da vida de prateleira. As amostras com menores teores de proteína apresentaram maiores valores de sinérese. Constatou-se também maior capacidade de predição dos modelos quanto maior o tempo de vida de prateleira, visto que os valores dos

coeficientes de correlação (R^2) foram aumentando. A relação entre os valores calculado e tabelado de *F-regressão/F-resíduos* foi maior que 14. A relação entre os valores calculado e tabelado *F-falta de ajuste/F-erro puro* ficou menor que 0,8 a partir das medidas de sinérese em 15 dias de vida de prateleira do produto.

Tabela 6. Resumo do resultado do tratamento estatístico da Sinérese.

Respostas	Y ₁ (Sinérese 0 dia)	Y ₂ (Sinérese 15º dia)	Y ₃ (Sinérese 30 º dia)	Y ₄ (Sinérese 45º dia)
Sinérese F0 (ml)	0,33	0,67	1,33	2,0
Sinérese mínima (ml)	F8 = F14 = 0	F8 = 0	F7 = F8 = 1	F7 = F8 = 1
Sinérese máxima (ml)	F13 = 11,33	F13 = 13,67	F13 = 15,67	F13 = 16,67
Sinérese média (ml)	2,84	4,17	5,27	4,52
Efeitos significativos	X ₂ =-2,58 X ₃ =-9,49 X ₃ ² =3,78	X ₂ =-2,85 X ₃ =-15,10 X ₃ ² =5,75	X ₁ =-1,97 X ₁ ² =-2,07 X ₂ =-4,22 X ₃ =-16,24 X ₃ ² =6,78	X ₂ =-3,86 X ₃ =-17,08 X ₃ ² =7,69
Média dos efeitos	5,92	11,25	12,84	16,58
$\frac{F_{reg/res(calc)}}{F_{reg/res(tab)}}$	$\frac{37}{2,56} = 14,4$	$\frac{89,7}{2,56} = 35,0$	$\frac{43,7}{2,45} = 17,8$	$\frac{121,9}{2,56} = 47,6$
$\frac{F_{fa/ep(calc)}}{F_{fa/ep(tab)}}$	$\frac{33,6}{9,40} = 3,6$	$\frac{7,2}{9,40} = 0,8$	$\frac{6,7}{9,38} = 0,7$	$\frac{5,4}{9,40} = 0,6$
R ²	89,52	95,39	96,91	96,57
Modelo	$Y_1 = 1,98 - 0,71 X_2 - 2,62 X_3 + 1,07 X_3^2$	$Y_2 = 3,10 - 0,64 X_2 - 3,42 X_3 + 1,33 X_3^2$	$Y_3 = 4,42 - 0,42 X_1 - 0,47 X_1^2 - 0,91 X_2 - 3,50 X_3 + 1,53 X_3^2$	$Y_4 = 4,52 - 0,87 X_2 - 3,83 X_3 + 1,76 X_3^2$
Gerou a superfície?	Sim	Sim	Sim	Sim

5.1.3 Análise de reologia

A seguir estão apresentados os dados referentes ao estudo reológico realizados nas formulações com Xilo oligossacarídeo (XOS), ao longo de 45 dias, nos intervalos **07, 30 e 45 dias** após sua preparação. Todos os ensaios foram realizados em triplicata.

Os estudos de comportamento reológico das formulações com XOS, foram realizados com as viscosidades determinadas nas condições de cisalhamento que simulam as tensões exercidas na mastigação humana, de 50s^{-1} e o cisalhamento usual de escoamento de fluido alimentícios em tubulações, de 100s^{-1} (STEFFE, 1996; VITALI, 1993). Para isto, no planejamento experimental foram utilizados os valores das viscosidades experimentais determinadas nestas taxas de deformação. Elas foram calculadas utilizando-se os parâmetros do modelo reológico da Lei da Potência (índices de consistência “K” e de comportamento de fluxo “n”) obtidos nos estudos reológicos conduzidos no reômetro operado por Software Rheo 3000, v.1.2.

A **Tabela 07** apresenta os valores de K e n médios, referentes aos ensaios de reologia das formulações XOS e da formulação F0 após 7, 30 e 45 dias de vida de prateleira.

Tabela 7. Valores de índice de consistência (k(mPa)) e comportamento de fluxo (n) utilizados para calcular os valores de tensão de cisalhamento no ponto 50s⁻¹ e 100s⁻¹, das formulações com fibra prebiótica XOS realizados dias 07, 30 e 45 a 10°C.

Formulações	Fibra Prebiótica XOS								
				07 dias		30 dias		45 dias	
	X1	X2	X3	Índice de consistência (k (mPa))	comportamento de fluxo (n)	Índice de consistência (k (mPa))	comportamento de fluxo (n)	Índice de consistência (k (mPa))	comportamento de fluxo (n)
F0 *	ñ	0	0	6260,70	0,2969	5966,27	0,2694	5210,50	0,281
F1	-1	-1	-1	1365,80	0,3389	1677,40	0,2945	1669,90	0,3020
F2	1	-1	-1	1544,10	0,3341	1860,70	0,2967	1719,80	0,3031
F3	-1	1	-1	1664,40	0,3407	1951,20	0,3070	1777,80	0,2958
F4	1	1	-1	1752,70	0,3347	1980,10	0,3056	1803,00	0,3113
F5	-1	-1	1	7269,80	0,2312	8153,30	0,2252	7051,10	0,2238
F6	1	-1	1	7676,00	0,2159	8988,00	0,1930	7860,80	0,2116
F7	-1	1	1	11696,40	0,2394	13160,40	0,2003	10318,50	0,2159
F8	1	1	1	13812,80	0,1861	12054,50	0,1651	12189,30	0,1802
F9	-1,68	0	0	3397,10	0,2767	3805,60	0,2629	4082,20	0,2540
F10	1,68	0	0	4438,40	0,2441	5049,50	0,2208	4860,70	0,2268
F11	0	-1,68	0	3112,40	0,2664	3430,50	0,2394	3394,20	0,2399
F12	0	1,68	0	4066,00	0,2429	3813,30	0,2334	3977,00	0,2433
F13	0	0	-1,68	615,20	0,3881	911,60	0,3304	853,10	0,3317
F14	0	0	1,68	9226,10	0,2285	9481,20	0,2125	9423,50	0,2157
PC01	0	0	0	3004,20	0,3051	3370,90	0,2726	3629,80	0,2683
PC02	0	0	0	3897,40	0,2633	4322,20	0,2426	3931,80	0,2502
PC03	0	0	0	3197,40	0,3255	3689,60	0,2849	3559,50	0,2774

*Formulação sem fibra prebiótica e com valores percentuais (%) de açúcar e proteína semelhantes aos utilizados nas formulações de ponto central.

5.1.3.1 Avaliação Estatística do efeito das variáveis XOS, proteína, açúcar no comportamento da viscosidade das formulações

Os resultados do planejamento experimental foram tratados para avaliação do efeito das variáveis dependentes: X₁ (prebiótico); X₂ (açúcar) e X₃ (proteína) nas variáveis resposta viscosidade em 50⁻¹ e 100 s⁻¹, no tempo de armazenamento de (Y₁) 07, (Y₂) 30 e (Y₃) 45 dias.

A Tabela 08 apresenta os valores médios das viscosidades em centipoise (cP) e seus respectivos desvios na taxa de cisalhamento de 50s⁻¹, que mais se assemelha a tensão exercida pelo humano na ação da mastigação (Steffe, 1996). A Figura 15 apresenta os resultados médios em centipoise (cP) na forma de gráfico.

Tabela 8. Valores de viscosidade (mPa.s=cP) na tensão de cisalhamento no ponto 50s-1, das formulações com fibra prebiótica XOS realizados dias 07, 30 e 45 após seu preparo.

Formulações	Fibra Prebiótica XOS								
				Viscosidade aparente 07 dias		Viscosidade aparente 30 dias		Viscosidade aparente 45 dias	
	X1	X2	X3	(50 1/s) Y1	DP	(50 1/s) Y2	DP	(50 1/s) Y3	DP
F0 *	ñ	0	0	398,94	20,08	342,38	8,57	312,98	13,99
F1	-1	-1	-1	102,85	3,50	106,17	3,01	108,85	1,50
F2	1	-1	-1	114,11	4,93	118,79	2,65	112,58	1,32
F3	-1	1	-1	126,22	4,02	129,69	4,91	113,10	1,19
F4	1	1	-1	129,83	7,43	130,89	2,54	121,88	5,33
F5	-1	-1	1	359,21	20,43	393,52	34,83	338,47	6,27
F6	1	-1	1	357,25	14,46	382,47	3,41	359,75	10,78
F7	-1	1	1	596,78	11,09	576,24	40,60	480,24	2,02
F8	1	1	1	572,12	43,65	459,92	15,45	493,36	20,75
F9	-1,68	0	0	200,56	3,53	212,87	8,35	220,53	13,01
F10	1,68	0	0	230,66	7,25	239,56	8,05	236,08	5,99
F11	0	-1,68	0	176,49	10,56	175,03	5,75	173,52	3,62
F12	0	1,68	0	210,32	34,61	190,05	2,13	206,04	2,27
F13	0	0	-1,68	56,16	0,76	66,40	2,61	62,46	0,50
F14	0	0	1,68	451,09	19,94	435,44	17,92	438,24	14,89
PC01	0	0	0	198,20	5,86	195,85	3,76	207,37	4,82
PC02	0	0	0	218,35	4,09	223,31	6,98	209,27	4,10
PC03	0	0	0	228,48	5,07	224,93	0,37	210,72	11,34

*Formulação sem fibra prebiótica e com valores percentuais (%) de açúcar e proteína semelhantes aos utilizados nas formulações de ponto central.

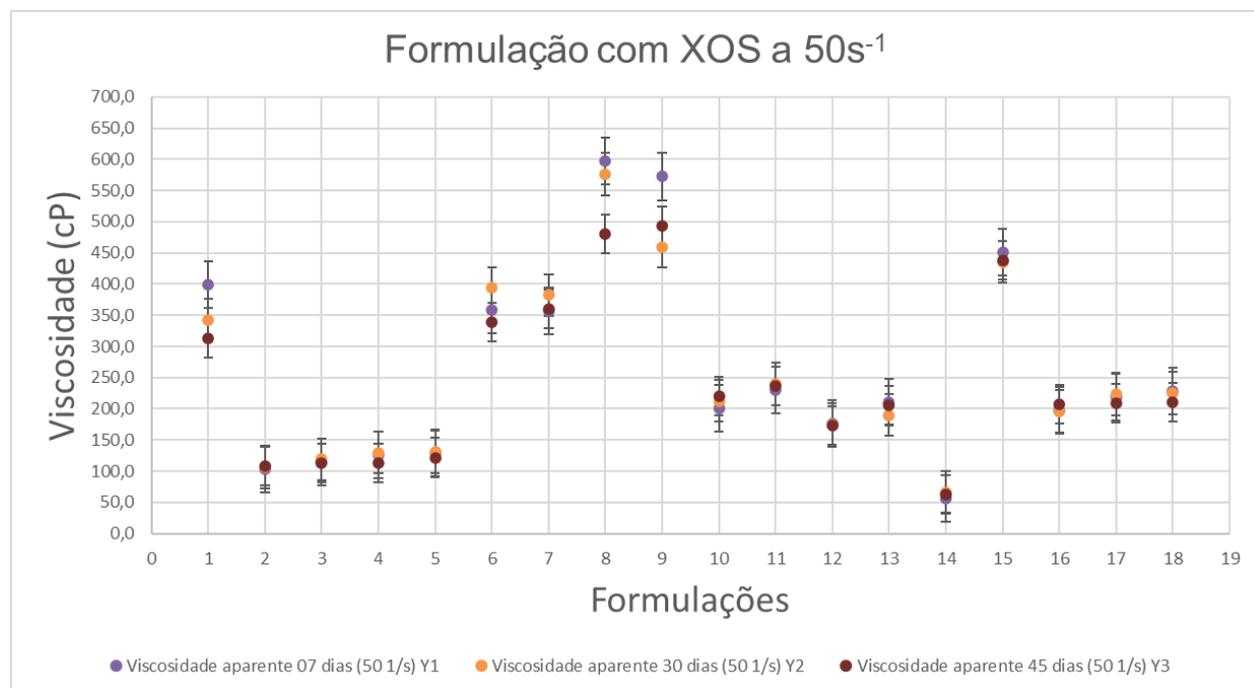


Figura 15. Gráfico com os valores de viscosidade em cP das amostras de bebida láctea com fibra prebiótica XOS analisadas ao longo de 45 dias de armazenamento na taxa de cisalhamento 50s-1.

A seguir é apresentada esta sequência de análise, realizada para a variável Y_1 (Viscosidade a 50 s^{-1} após 07 dias de armazenamento).

A viscosidade das amostras variou de 56,16 cP (F13) à 596,78 cP (F7). A menor viscosidade foi constatada para a amostra com menor teor de proteína (nível -1,68 para X_3). A amostra mais viscosa apresentava nível +1 para proteína e açúcar e nível -1 para o XOS. A segunda amostra mais viscosa (F8 = 572,12 cP) também apresentava nível +1 para proteína e açúcar, porém nível +1 para prebiótico. Analogamente, todos os outros pares de formulações, com mesmo nível na proteína e açúcar, tiveram viscosidades similares, independentemente do nível do prebiótico: vide pares F1 e F2; F3 e F4; F5 e F6, F7 e F8. Esta avaliação indica a relevância da proteína e açúcar na viscosidade, e o menor efeito da fibra. Estes dados se mostram interessante, indicando que a presença da XOS pouco impactou na viscosidade das formulações. Este ingrediente tem potencial prebiótico e benefícios à saúde associados e não gerou modificação significativa nas características originais do alimento padrão em relação a sua versão funcional.

Na **Figura 16** estão o Diagrama de Pareto, que apresenta os efeitos padronizados do valor de $t_{calculado}$ para a média desses efeitos ($\mu = 16,96$), e das variáveis ($X_2 = 2,40$), ($X_3 = 9,08$) e da interação ($X_2 X_3 = 2,36$) com valor-p significativos ($p\text{-valor} < 0,1$) e o gráfico que relaciona os valores experimentais com os previstos.

Esta análise resultou a equação $Y_1 = 254,63 + 40,16 X_2 + 152,05 X_3 + 51,67 X_2 X_3$

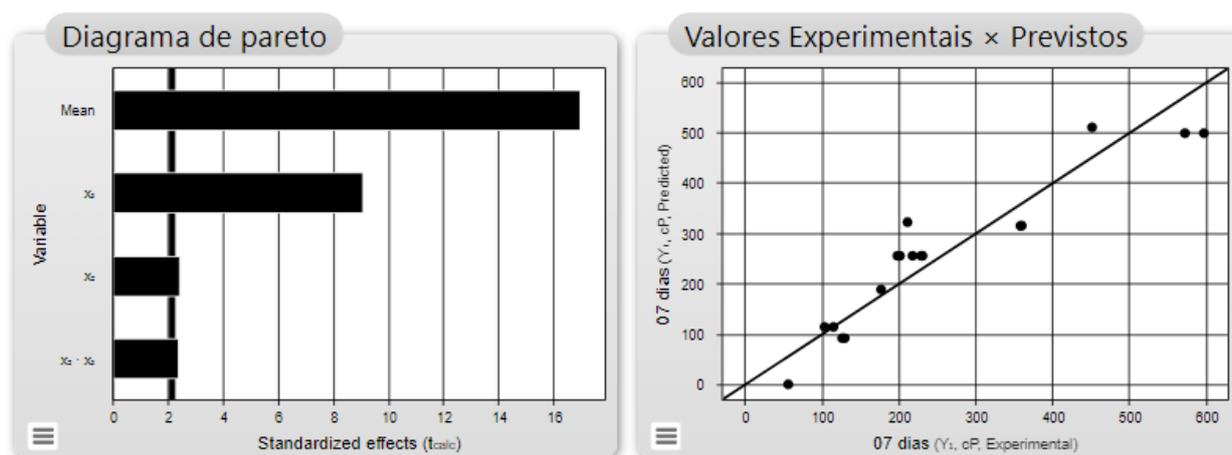


Figura 16. Diagrama de Pareto das interações das formulações com a fibra prebiótica XOS nas análises reológicas com a tensão de cisalhamento no ponto 50 s^{-1} , 7 dias após seu preparo (Fonte: Protimiza, 2022).

A Análise de Variância (ANOVA) indicou uma porcentagem de variação explicada (R^2) de 87,82% e $F_{reg/res(calc)} = 31,2$ para o valor do coeficiente de regressão, considerado altamente significativo (p-valor = 0,00000), **Figura 17**, doze vezes maior que o valor do $F_{reg/res(tab)} = 2,56$ nível de significância de $\alpha=10\%$. Para o valor de $F_{calculado}$ da falta de ajuste/erro puro, tem-se um valor $F_{fa/ep(calc)} = 18,9$ e p-valor de 0,05133. Esse valor maior que o valor de $F_{fa/ep(tab)} = 9,40$ com nível de significância $\alpha=10\%$ (Rodrigues e lemma, 2014).

Apesar do R^2 não ter apresentado valores tão próximos de 100%, a superfície foi gerada para visualização da tendência desta variável em função das variáveis independentes.

ANOVA						
Fonte de Variação	soma dos quadrados	Graus de liberdade	quadrado médio	F_{calc}	p-valor	
Regressão	359123.4	3	119707.8	31.2	0,00000	
resíduos	49800.9	13	3830,8			
Falta de ajuste	49326.0	11	4484.2	18.9	0,05133	
Erro Puro	474,9	2	237,4			
Total	408924.2	16				

$R^2 = 87,82\%$

Figura 17. Análise de Variância (ANOVA) das formulações com a fibra prebiótica XOS nas análises reológicas com a tensão de cisalhamento no ponto 50s-1, 7 dias após seu preparo (Fonte: Protimiza, 2022).

Na **Figura 18** é possível verificar, através da superfície de resposta da interação entre Açúcar (X_2) e Proteína (X_3), os valores associados a essa interação, indicando que onde havia maior percentual das variáveis citadas, foram encontrados os maiores valores de viscosidade (cP), mas também é possível avaliar que a variável que mais influenciou esses valores de viscosidade foi (X_3).

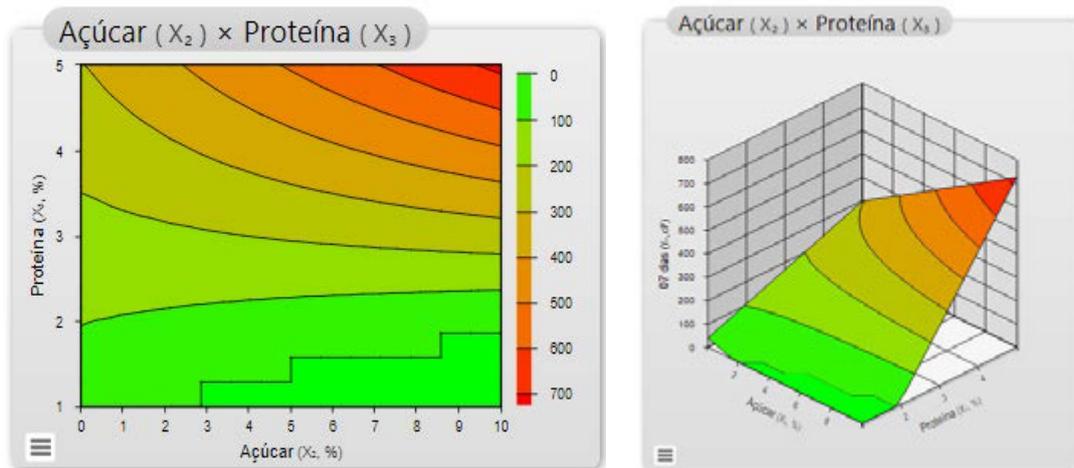


Figura 18. Superfície de resposta da Interação Açúcar (X_2) e Proteína (X_3) das formulações com a fibra prebiótica XOS nas análises reológicas com a tensão de cisalhamento no ponto 50s-1, 7 dias após seu preparo (Fonte: Protimiza, 2022).

Esta mesma análise e avaliação de resultados foi realizada para as outras respostas relacionadas à viscosidade determinada na taxa de deformação à 50 s^{-1} **30** e **45 dias** (Y_2, Y_3). Os respectivos gráficos de Pareto e valores preditos e observados e as tabelas ANOVA estão todos detalhados e apresentados em anexo. A seguir está apresentada a **tabela 09**, com resumo destes resultados.

Aos 30 dias, houve uma mudança do comportamento no efeito das variáveis na viscosidade. Somente a variável proteína (X_3) foi significativa, estatisticamente o modelo perdeu ainda mais seu poder de predição, fato observado pela queda do valor do R^2 . Aos 45 dias, o modelo foi gerado novamente considerando significativos os termos lineares do açúcar e proteína, quadrático da proteína e a interação de açúcar e proteína. Para efeito de visualização do comportamento da viscosidade, a superfície foi gerada em todas as análises, mesmo com ressalva que nos dois primeiros casos o R^2 não estava acima de 90%.

Tabela 9. Resumo do resultado do tratamento estatístico – Viscosidade 50s-1.

Respostas	Y ₁ (viscosidade 50 s ⁻¹ 7º dia)	Y ₂ (viscosidade 50 s ⁻¹ 30º dia)	Y ₃ (viscosidade 50 s ⁻¹ 45º dia)
Viscosidade F0 (cP)	398,94	342,37	312,98
Viscosidade mínima (cP)	F13 = 56,15	F13= 66,40	F13= 62,45
Viscosidade máxima (cP)	F7 = 596,78	F7 = 576,24	F8 = 493,36
Viscosidade média (cP)	254,63	250,65	240,73
Efeitos significativos	X ₂ =2,40 X ₃ =9,08 X ₂ X ₃ =2,36	X ₃ =8,29	X ₂ =2,48 X ₃ =13,32 X ₃ ² =1,90 X ₂ X ₃ =2,47
Média dos efeitos	16,96	16,26	18,20
$\frac{F_{reg/res(calc)}}{F_{reg/res(tab)}}$	$\frac{31,2}{2,56} = 12,2$	$\frac{68,7}{3,07} = 22,4$	$\frac{48,3}{2,48} = 19,5$
$\frac{F_{fa/ep(calc)}}{F_{fa/ep(tab)}}$	$\frac{18,9}{9,4} = 2,0$	$\frac{17,3}{9,35} = 1,8$	$\frac{597,5}{9,39} = 63,3$
R ²	87,92	82,08	94,15
Modelo	$Y_1 = 254,63 + 40,16 X_2 + 152,05 X_3 + 51,67 X_2 X_3$	$Y_2 = 250,65 + 142,58 X_3$	$Y_3 = 224,9 + 25,16 X_2 + 135,27 X_3 + 19,71 X_3^2 + 32,73 X_2 X_3$
Gerou a superfície?	Sim (para visualização do comportamento da viscosidade)	Sim (para visualização do comportamento da viscosidade)	Sim

Na **Tabela 10** estão apresentados os resultados dos valores médios das viscosidades em centipoise (cP) e seus respectivos desvios na taxa de cisalhamento de $100s^{-1}$, que é muito usual cálculos para escoamento de fluidos alimentícios em tubulações (Steffe, 1996) das formulações com XOS, ao longo de 45 dias, nos dias **07, 30 e 45 dias** após seu preparo. A **Figura 19** apresenta esses valores na forma de gráfico.

Tabela 10. Valores de viscosidade (cP) na tensão de cisalhamento no ponto $100s^{-1}$, das formulações com fibra prebiótica XOS nos dias 07, 30 e 45 após seu preparo.

Formulações	Fibra Prebiótica XOS								
				Viscosidade aparente dia 7		Viscosidade aparente 30 dias		Viscosidade aparente 45 dias	
	X1	X2	X3	(100 1/s) Y1	DP	(100 1/s) Y2	DP	(100 1/s) Y3	DP
F0*	ñ	0	0	244,98	10,35	206,34	5,65	190,18	9,74
F1	-1	-1	-1	65,04	2,44	65,11	1,69	67,10	0,71
F2	1	-1	-1	71,92	3,36	72,96	2,15	69,45	1,10
F3	-1	1	-1	79,92	2,41	80,22	2,93	69,42	0,84
F4	1	1	-1	81,87	4,29	80,89	1,50	75,61	3,11
F5	-1	-1	1	210,83	11,74	230,00	20,20	197,63	4,43
F6	1	-1	1	207,46	6,80	218,61	2,49	208,29	6,00
F7	-1	1	1	352,25	5,70	331,03	22,51	278,88	2,11
F8	1	1	1	325,45	18,64	257,84	8,36	279,50	12,31
F9	-1,68	0	0	121,48	1,18	127,71	4,93	131,49	8,63
F10	1,68	0	0	136,59	4,48	139,59	4,56	138,13	3,19
F11	0	-1,68	0	106,14	6,62	103,31	3,69	102,46	2,60
F12	0	1,68	0	124,44	19,16	111,71	0,57	121,94	1,53
F13	0	0	-1,68	36,75	0,23	41,74	3,09	39,30	0,37
F14	0	0	1,68	264,25	10,36	252,27	13,00	254,46	9,92
PC01	0	0	0	122,44	3,62	118,29	2,63	124,88	3,47
PC02	0	0	0	131,03	2,51	132,10	4,26	124,45	2,63
PC03	0	0	0	143,15	4,93	137,02	0,91	127,70	7,10

*Formulação sem fibra prebiótica e com valores percentuais (%) de açúcar e proteína semelhantes aos utilizados nas formulações de ponto central.

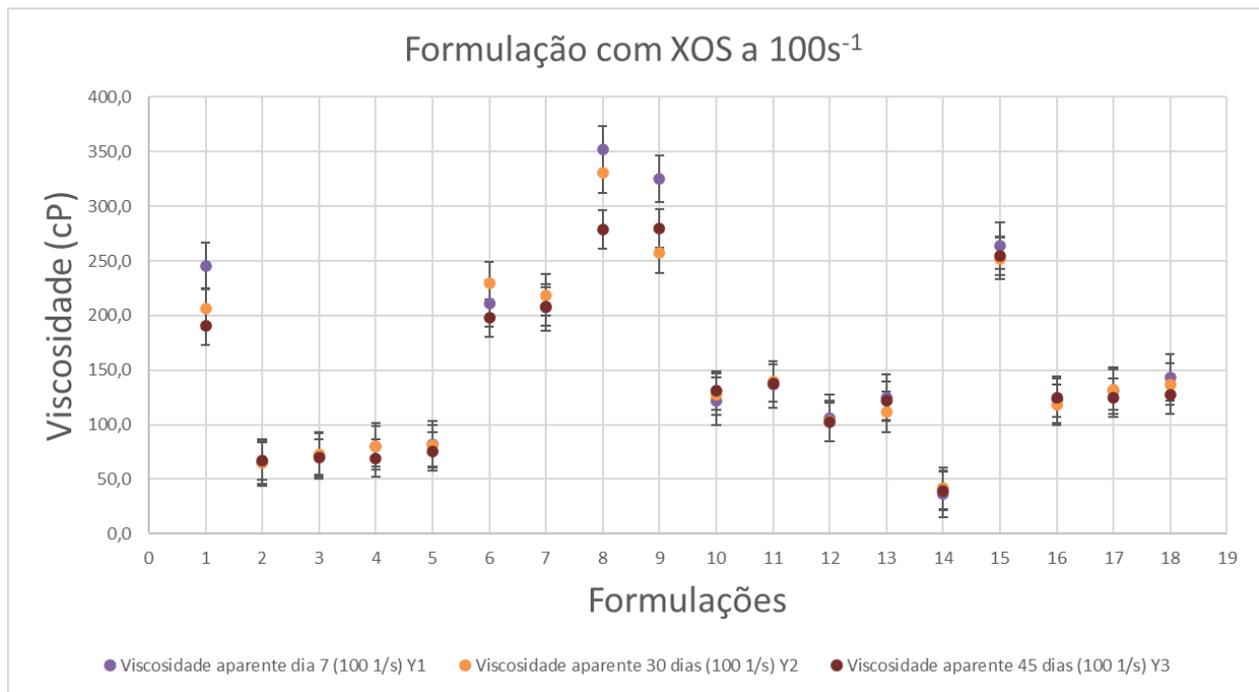


Figura 19. Gráfico com os valores de viscosidade em cP das formulações com XOS analisadas ao longo de 45 dias, na taxa de cisalhamento de 100s⁻¹.

O comportamento da viscosidade nesta taxa de deformação foi bem similar ao comportamento da viscosidade na taxa de deformação de 50s⁻¹, com diferencial que todas as viscosidades foram proporcionalmente menores. Este fato é esperado para fluidos pseudoplástico, cujas viscosidades diminuem com o aumento da taxa de deformação numa mesma temperatura. A viscosidade das amostras variou de 36,75 cP (F13) à 352,25 cP (F7). A menor viscosidade foi constatada para a amostra com menor teor de proteína (nível -1,68 para X₃). A amostra mais viscosa apresentava nível +1 para proteína e açúcar e nível -1 para o prebiótico XOS. A segunda amostra mais viscosa (F8 = 325,45 cP) também apresentava nível +1 para proteína e açúcar, porém nível +1 para prebiótico. Assim como aconteceu para as viscosidades a 50 s⁻¹, todos os outros pares de formulações com mesmo nível na proteína e açúcar, tiveram viscosidades similares, independentemente do nível do prebiótico: pares F1 e F2; F3 e F4; F5 e F6, F7 e F8. Este fato confirma o papel de destaque da proteína e açúcar no efeito da viscosidade, e menor efeito do prebiótico (como citado anteriormente).

Na **Figura 20** estão o Diagrama de Pareto, que apresenta os efeitos padronizados do valor de t_{cal} para a média desses efeitos ($\mu = 17,82$) e das variáveis (X₂ = 2,43), (X₃ = 9,09) e da interação (X₂ X₃ = 2,36) com valor-p significativo e o gráfico que relaciona os valores experimentais com os preditos, o que resultou nas respostas

estatisticamente significativas **média (μ)** e dos coeficientes lineares das variáveis Açúcar (X_2) e Proteína (X_3) e da interação dessas variáveis ($X_2 \times X_3$), gerando a equação $y_1 = 151,82 + 23,07 x_2 + 86,39 x_3 + 29,32 x_2x_3$ (Rodrigues e lemma, 2014).

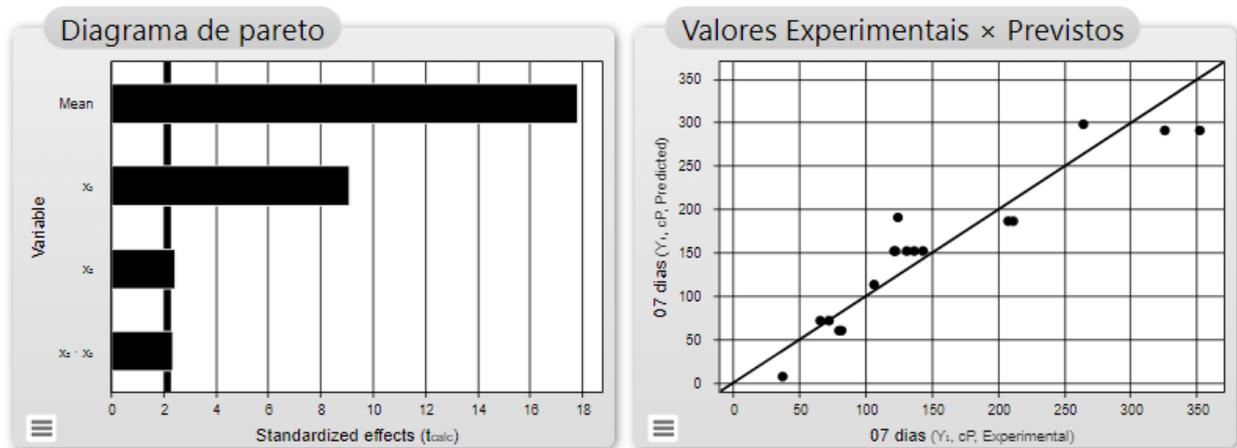


Figura 20. Diagrama de Pareto das interações das formulações com a fibra prebiótica XOS nas análises reológicas com a tensão de cisalhamento no ponto 100s-1, 7 dias após seu preparo (Fonte: Protimiza, 2022).

A **Figura 21**, Análise de Variância (ANOVA) indicou uma porcentagem de variação explicada (R^2) de 87,86% e $F_{reg/res(calc)} = 31,4$ para o valor do coeficiente de regressão considerado altamente significativo (p -valor = 0,00000), maior que o valor do $F_{reg/res(tab)} = 2,56$, nível de significância de $\alpha=10\%$. Para o valor de F -calculado da falta de ajuste/erro puro, tem-se um valor $F_{fa/ep(calc)} = 13,3$ e p -valor de 0,07203. Esse valor é maior que o F -tabelado $F_{fa/ep(tab)} = 9,40$ com nível de significância de $\alpha=10\%$ (Rodrigues e lemma, 2014).

Apesar do R^2 ter sido menor que 90%, foi gerada superfície para visualização desta variável em função das variáveis independentes.

ANOVA

Fonte de Variação	soma dos quadr.	Graus de liberdade	quadrado médio	F _{calc}	p-valor
Regressão	116075.2	3	38691.7	31.4	0,00000
resíduos	16039.9	13	1233,8		
Falta de ajuste	15823.4	11	1438,5	13.3	0,07203
Erro Puro	216,5	2	108.3		
Total	132115.1	16			

$$R^2 = 87,86\%$$

Figura 21. Análise de Variância (ANOVA) das formulações com a fibra prebiótica XOS nas análises reológicas com a tensão de cisalhamento 100s⁻¹, 7 dias após seu preparo (Fonte: Protimiza, 2022).

Na **Figura 22** é possível verificar, através da superfície de resposta da interação entre Açúcar (X₂) e Proteína (X₃), os valores associados à essa interação, indicando que onde havia maior percentual das variáveis foram encontrados os maiores valores de viscosidade (cP), mas também é possível avaliar que a variável que mais influenciou esses valores de viscosidade foi (X₃).

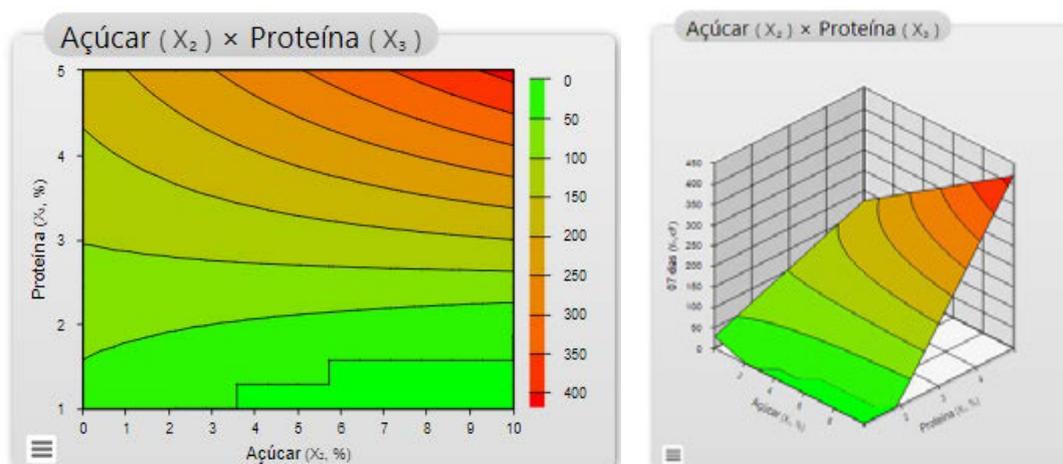


Figura 22. Interação Açúcar (X₂) e Proteína (X₃) das formulações com a fibra prebiótica XOS nas análises reológicas com a tensão de cisalhamento no ponto 100s⁻¹, 7 dias após seu preparo (Fonte: Protimiza, 2022).

Esta mesma análise e avaliação de resultados foi realizada para as outras respostas de viscosidade na taxa de deformação à 100 s⁻¹ em 30 e 45 dias (Y₂, Y₃). Os respectivos gráficos de Pareto e valores preditos e observados e as tabelas ANOVA estão todos detalhados e apresentados no Anexo. A seguir está apresentada a **Tabela 11**, com resumo destes resultados.

Assim como ocorreu com o comportamento da viscosidade a 50 s^{-1} , aos 30 dias somente a proteína afetou estatisticamente a viscosidade e o valor do coeficiente de regressão R^2 do modelo foi menor, comparado aos 7 e 45 dias. Aos 45 dias, o modelo foi gerado novamente considerando significativos os termos lineares do açúcar e proteína, o coeficiente quadrático da proteína e o referente à interação de açúcar e proteína. A superfície foi gerada em todas as análises para visualização de seu comportamento, mesmo com a ressalva que nos dois primeiros casos o R^2 não estava acima de 90%.

Tabela 11. Resumo do resultado do tratamento estatístico – Viscosidade 100s-1.

Respostas	Y ₁ (viscosidade 100 s ⁻¹ 7º dia)	Y ₂ (viscosidade 100 s ⁻¹ 30º dia)	Y ₃ (viscosidade 100 s ⁻¹ 45º dia)
Viscosidade F0 (cP)	244,98	206,34	190,18
Viscosidade mínima (cP)	F13 = 36,74	F13= 41,74	F13= 39,30
Viscosidade máxima (cP)	F7 = 352,25	F7 = 331,03	F8 = 279,49
Viscosidade média (ml)	151,82	147,08	141,80
Efeitos significativos	X ₂ =2,43 X ₃ =9,09 X ₂ X ₃ =2,36	X ₃ =8,37	X ₂ =2,56 X ₃ =13,84 X ₃ ² =1,90 X ₂ X ₃ =2,49
Média dos efeitos	17,82	17,17	19,76
$\frac{F_{reg/res(calc)}}{F_{reg/res(tab)}}$	$\frac{31,4}{3,56} = 8,8$	$\frac{70,1}{3,07} = 22,8$	$\frac{51,7}{2,48} = 16,5$
$\frac{F_{fa/ep(calc)}}{F_{fa/ep(tab)}}$	$\frac{13,3}{9,40} = 1,4$	$\frac{15,1}{9,35} = 1,6$	$\frac{161}{9,39} = 9,8$
R ²	87,86	82,37	94,52
	Y ₁ = 151,82 + 23,07 X ₂ + 86,39 X ₃ + 29,32 X ₂ X ₃	Y ₂ = 147,08 + 79,99 X ₃	Y ₃ = 133,16 + 14,18 X ₂ + 76,49 X ₃ + 10,76 + 18 X ₂ X ₃
Preditivo?	Sim (para visualização do comportamento da viscosidade)	Sim (para visualização do comportamento da viscosidade)	Sim

5.2 FORMULAÇÃO COM IMO

5.2.1 Análise de pH

Na **Tabela 12** estão apresentados os resultados de pH nas formulações com Isomalto oligossacarídeos (IMO) nos **dias 0, 07, 15, 30 e 45**. Na **Figura 23** estão estes valores de pH das 17 formulações e da formulação F0 (sem fibra), ao longo de 45 dias armazenadas na temperatura de 4°C (MAPA IN nº16 de 26/08/2006), apresentados na forma de gráfico.

Por estes resultados foi possível acompanhar o comportamento do pH de todas as formulações a partir do preparo (dia 0). O maior valor de pH constatado no dia 0, na formulação com menor teor de açúcar (F11) de 4,70, enquanto o valor mínimo foi 4,40 (F13), com menor percentual de proteína (X₃), e o valor médio (μ) foi de 4,55. Após 07 dias de armazenamento, foi observado que três formulações apresentaram aumento dos valores de pH, foram elas, F5, F6 e F14, enquanto o pH das demais formulações diminuíram ou se mantiveram estáveis, sendo registrados valores entre 4,34 (F13) e 4,68 (F5, F6 e F14), com um valor médio (μ) de 4,56. Nas análises realizadas após 15 dias de armazenamento, foi observada, com exceção de F12 e F13, a queda dos valores em todas as formulações, com oscilações entre 4,35 (F13) e 4,62 (F6 e F14), com um valor médio (μ) de 4,52. Comportamento diferente foi observado nas análises realizadas aos 30 dias, com aumento em praticamente em todos os valores, com exceção de F2, oscilando entre 4,38 (F13) e 4,65 (F6 e F14), e valor médio (μ) de 4,55. Na análise do dia 45, foi observado um leve aumento na grande maioria dos valores, com exceção de F4, F5 e F11, portanto, uma menor variação em relação aos valores anteriores, com variação de 4,41 (F13) e 4,71 (F14), com valor médio (μ) de 4,57. Na formulação F0, foi possível identificar uma estabilidade nos valores de pH ao longo dos ensaios, com uma variação de 0,04 entre os dias 07 e 45, aspecto diferente em relação as formulações com fibra prebiótica XOS, onde está variação chegou ser de até 0,16 na amostra F14.

Tabela 12. Valores de pH das formulações com fibra prebiótica IMO realizados ao longo de 45 dias a partir do seu preparo.

Formulações	pH de IMO							
	X1	X2	X3	dia 0 (Y1)	dia 7 (Y2)	dia 15 (Y3)	dia 30 (Y4)	dia 45 (Y5)
F0 *	ñ	0	0	4,51	4,51	4,52	4,51	4,55
F1	-1	-1	-1	4,47	4,48	4,38	4,43	4,43
F2	1	-1	-1	4,46	4,51	4,48	4,46	4,46
F3	-1	1	-1	4,43	4,52	4,44	4,47	4,49
F4	1	1	-1	4,48	4,56	4,50	4,56	4,53
F5	-1	-1	1	4,55	4,68	4,59	4,63	4,62
F6	1	-1	1	4,55	4,68	4,62	4,65	4,66
F7	-1	1	1	4,60	4,60	4,56	4,57	4,60
F8	1	1	1	4,61	4,61	4,58	4,63	4,65
F9	-1,68	0	0	4,62	4,55	4,52	4,56	4,56
F10	1,68	0	0	4,57	4,55	4,53	4,57	4,58
F11	0	-1,68	0	4,70	4,57	4,54	4,61	4,59
F12	0	1,68	0	4,63	4,55	4,56	4,61	4,66
F13	0	0	-1,68	4,40	4,34	4,35	4,38	4,41
F14	0	0	1,68	4,67	4,68	4,62	4,65	4,71
PC01 (F15)	0	0	0	4,57	4,55	4,50	4,56	4,58
PC02 (F16)	0	0	0	4,54	4,55	4,52	4,54	4,57
PC03 (F17)	0	0	0	4,51	4,54	4,50	4,51	4,56

*Formulação sem fibra prebiótica e com valores percentuais (%) de açúcar e proteína semelhantes aos utilizados nas formulações de ponto central.

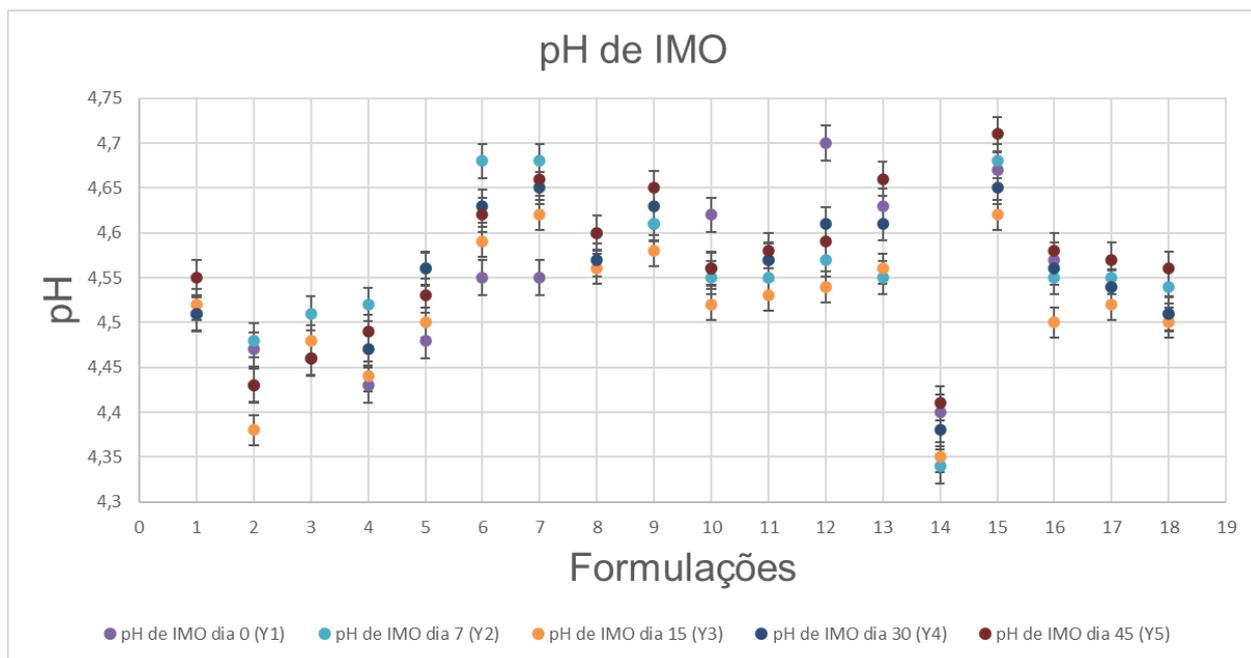


Figura 23. Gráfico com a evolução do pH das formulações IMO ao longo de 45 dias de armazenamento, com leitura a 20°C.

5.2.1.1 Avaliação Estatística do efeito das variáveis IMO, açúcar e proteína no comportamento do pH das formulações.

Os resultados do planejamento experimental foram tratados no Software *Protimiza Experimental Design* (Rodrigues & Costa, 2022), para avaliação do efeito das variáveis dependentes: X_1 (prebiótico); X_2 (açúcar) e X_3 (proteína) nas variáveis respostas. A seguir é apresentada esta sequência de análise, realizada para a variável Y_1 (pH no 0 dia de armazenamento).

Na **Figura 24** estão o Diagrama de Pareto, que apresenta os efeitos padronizados do valor de t_{cal} para a média desses efeitos ($\mu = 323,15$) e a variável de primeira ordem ($X_3 = 4,31$), com valor-p significativos, considerando o nível de significância de $\alpha=10\%$ e o gráfico que relaciona os valores experimentais com os preditos.

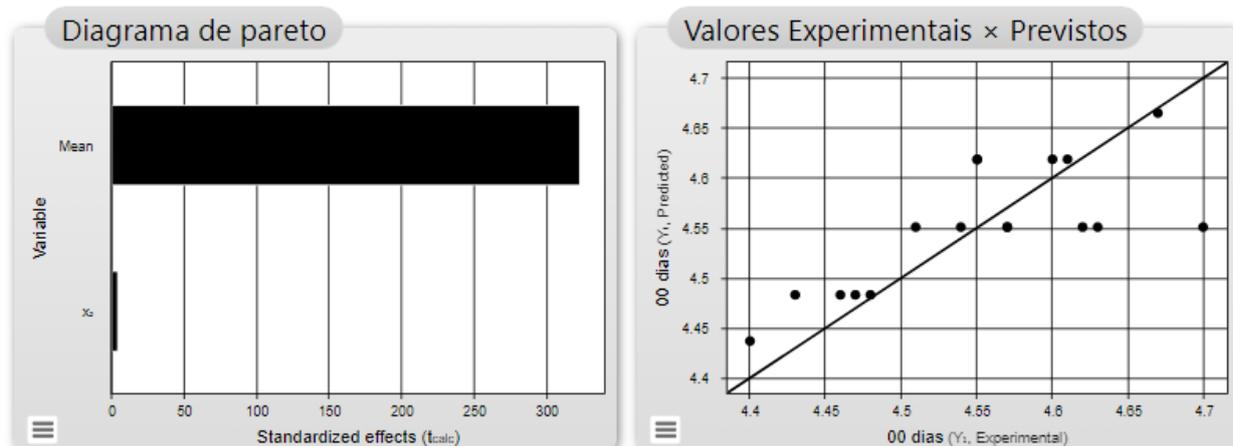


Figura 24. Diagrama de Pareto das interações das formulações com a fibra prebiótica IMO nas análises de pH na data da preparação (Fonte: Protimiza, 2022).

A **Figura 25**, Análise de Variância (ANOVA), indicou uma porcentagem de variação explicada R^2 de 55,29%. O F -calculado para a regressão/resíduos $F_{reg/res(calc)} = 18,5$ com p-valor significativo de 0,00062. Este valor é maior que o valor de F -tabelado com nível de significância de $\alpha=10\%$, de ($F_{reg/res(tab)} = 3,07$). Para o valor de F -calculado da falta de ajuste/erro puro, tem-se um valor ($F_{fa/ep(calc)} = 4,2$) e p-valor de 0,20990. Esse valor é menor que o F -tabelado ($F_{fa/ep(tab)} = 9,35$) com nível de significância de $\alpha=10\%$ (Rodrigues e lemma, 2014).

ANOVA

Fonte de Variação	soma dos quadr.	Graus de liberdade	quadrado méo	F_{calc}	p-valor
Regressão	0,1	1	0,1	18,5	0,00062
resíduos	0,1	15	0,0		
Falta de ajuste	0,0	13	0,0	4,2	0,20990
Erro Puro	0,0	2	0,0		
Total	0,1	16			

$R^2 = 55,29\%$

Figura 25. Análise de Variância (ANOVA) das interações das formulações com a fibra prebiótica IMO nas análises de pH na data do seu preparo (Fonte: Protimiza, 2022).

O R^2 (55,29%) do ajuste está bem menor que o valor desejado de 100 %, inferindo que o modelo gerado ($Y_1 = 4,55 + 0,07 X_3$) não é adequado para representar a variável pH no dia 0. Portanto a superfície de resposta não foi gerada. Esta mesma análise e avaliação de resultados foi realizada para as outras respostas de pH dos dias 7, 15, 30 e 45 dias (Y_2, Y_3, Y_4, Y_5). Os respectivos gráficos de Pareto e dos valores

preditos e observados e as tabelas ANOVA estão todos detalhados e apresentados no Anexo

O mesmo comportamento apresentado por Y_1 ocorreu na análise de pH medida no 7º dia (Y_2), no qual a superfície não foi gerada.

Diferente do ocorrido com as formulações com XOS, para estas análises nos dias 15, 30 e 45 dias (Y_3 , Y_4 , Y_5) constatou-se uma maior influência das variáveis independentes nos valores de pH das amostras nos demais dias analisados. Os valores dos R^2 aumentaram e as relações de F-calculado/F-tabelado ficaram numericamente mais adequadas. Desta maneira, as superfícies de respostas foram geradas.

Pelos resultados apresentados, ressalta-se também uma forte influência da proteína nos valores de pH, quando estas estiveram presentes níveis $+\alpha$ e $-\alpha$, ao longo de todo período de análises. A seguir está apresentada a **Tabela 13**, com resumo destes resultados.

Tabela 13. Resumo do tratamento estatístico do pH para IMO.

Respostas	Y ₁ (pH 0 dia)	Y ₂ (7° dia)	Y ₃ (15° dia)	Y ₄ (30° dia)	Y ₅ (45° dia)
pH F0	4,51	4,51	4,52	4,51	4,55
pH mínimo	F13 = 4,40	F13 = 4,34	F13 = 4,35	F13=4,38	F13=4,41
pH máximo	F11 = 4,70	F5, F6 e F14 = 4,68	F6 e F14 = 4,62	F6 e F14=4,65	F14=4,71
pH médio	4,55	4,56	4,52	4,55	4,57
Efeitos significativos	X ₃ =4,31	X ₃ =8,61 X ₂ X ₃ =-2,52	X ₁ =2,95 X ₂ ² =2,66 X ₃ =13,04 X ₁ X ₃ =-1,87 X ₂ X ₃ =-2,55	X ₁ =2,21 X ₂ ² =3,20 X ₃ =10,33 X ₂ X ₃ =-2,93	X ₁ =2,23 X ₂ =2,51 X ₂ ² =2,54 X ₃ =12,95 X ₂ X ₃ =-2,41
Média dos efeitos	323,15	558,20	657,03	518,49	588,67
$\frac{F_{reg/res(calc)}}{F_{reg/res(tab)}}$	$\frac{18,5}{3,07} = 6,02$	$\frac{40,2}{2,73} = 14,7$	$\frac{39,2}{2,45} = 16,0$	$\frac{32,6}{2,48} = 13,1$	$\frac{38,2}{2,45} = 15,6$
$\frac{F_{fa/ep(calc)}}{F_{fa/ep(tab)}}$	$\frac{4,2}{9,35} = 0,4$	$\frac{39,5}{9,41} = 4,2$	$\frac{3,8}{9,38} = 0,4$	$\frac{1,1}{9,39} = 0,1$	$\frac{6,5}{9,38} = 0,7$
R ²	55,29	85,18	94,68	91,58	94,56
Modelo	$Y_1 = 4,55 + 0,07 X_3$	$Y_2 = 4,56 + 0,08 X_3 - 0,03 X_2 X_3$	$Y_3 = 4,50 + 0,02 X_1 + 0,02 X_2^2 + 0,07 X_3 - 0,01 X_1 X_3 - 0,02 X_2 X_3$	$Y_4 = 4,53 + 0,02 X_1 + 0,02 X_2^2 + 0,07 X_3 - 0,03 X_2 X_3$	$Y_5 = 4,55 + 0,01 X_1 + 0,02 X_2 + 0,02 X_2^2 + 0,08 X_3 - 0,02 X_2 X_3$
Gerou a superfície?	Não	Não	Sim	Sim	Sim

5.2.2 Análise da sinérese

A seguir estão os valores de separação de soro (sinérese) das formulações com XOS desenvolvidas e analisadas por um período de 45 dias.

Após o preparo, e envase das formulações, as amostras foram armazenadas em câmara fria com temperatura de 4°C (MAPA IN nº16 de 26/08/2006), para avaliação nos dias 07(Y1), 15(Y2), 30(Y3) e 45(Y4) de armazenamento, para registro do comportamento das formulações quanto a separação de soro. Nas datas pré-determinadas eram coletadas as imagens das triplicatas de cada formulação e anotados os volumes em ml, referentes a cada proveta das formulações estudadas.

Para exemplificação do fenômeno da sinérese constatado nas amostras, a seguir estão as **Figuras 26a, 26b e 26c** registradas das formulações, a sem adição de fibra (**F0**) e duas com IMO (**F13 e F14**) no dia 07 após seu preparo, com os níveis mais antagônicos de sinérese. As demais figuras estão apresentadas no Anexo desta dissertação.



(a) **F00: 0,33 ml**

(b) **F13: 9,00 ml**

(c) **F14: sem sinérese**

Figura 26. Registro da avaliação da sinérese das formulações com IMO após 7 dias de armazenamento: (a) Formulação F0 apresentou 0,33 mL de soro; (b) Formulação F13 apresentou 9,00 mL de sinérese; (c) Formulação F14 não sofreu sinérese.

Na **Tabela 14** estão os resultados das provetas com IMO, realizadas no dia 07 após seu preparo, com os valores em mililitros (mL), levando em consideração o volume total de cada proveta e a separação de soro visível na data da coleta. Para um melhor entendimento das informações, as variáveis estão identificadas como Prebiótico (**X₁**),

Açúcar (**X₂**) e Proteína (**X₃**), enquanto as respostas em mL, sendo realizadas nos dias 07(**Y₁**), 15(**Y₂**), 30(**Y₃**) e 45(**Y₄**).

Ao observar os resultados de sinérese para as formulações com IMO após 07(**Y₁**) dias do seu preparo, é possível constatar que houve uma variação de **0 mL** (formulações F6, F7, F8 e F14) até **9,0 ml** (formulação F13), que apresentou a maior valor de sinérese, este comportamento pode estar associado aos percentuais de Proteína (**X₃**), já que, nas formulações em que estes valores estavam acima dos níveis do ponto central do planejamento, 0 = 3,0%, foi verificada essa menor variação. A mesma observação vale para as formulações com valor percentual de Proteína (**X₃**) inferiores ao do ponto central, mas nesse caso, com maior variação da sinérese. Na **Figura 27** estão estes valores de sinérese das 17 formulações com fibra prebiótica IMO e da formulação sem fibra (F0), ao longo de 45 dias armazenadas a 4°C (MAPA IN nº16 de 26/08/2006), apresentados na forma de gráfico.

Tabela 14. Resultados de sinérese para as formulações com IMO e formulação sem fibra ao longo de 45 dias de armazenamento a 4°C, com X1= XOS, X2 = Açúcar e X3 = Proteína.

Formulações	Sinérese IMO						
	X1	X2	X3	em ml Y1 (07 dias)	em ml Y2 (15 dias)	em ml Y3 (30 dias)	em mL Y4 (45 dias)
F0 *	ñ	0	0	0,33	0,67	1,33	2,00
F1	-1	-1	-1	4,33	5,67	6,67	7,67
F2	1	-1	-1	3,00	4,33	5,33	6,67
F3	-1	1	-1	1,67	3,33	4,67	5,67
F4	1	1	-1	3,67	4,67	6,00	7,00
F5	-1	-1	1	0,33	1,00	1,00	1,00
F6	1	-1	1	0,00	0,00	0,33	1,00
F7	-1	1	1	0,00	0,00	0,00	0,00
F8	1	1	1	0,00	0,00	0,00	0,00
F9	-1,68	0	0	1,00	1,00	1,67	2,33
F10	1,68	0	0	1,00	1,00	1,00	1,00
F11	0	-1,68	0	1,33	1,33	2,33	3,33
F12	0	1,68	0	0,00	0,67	1,67	2,00
F13	0	0	-1,68	9,00	11,67	12,33	13,67
F14	0	0	1,68	0,00	0,00	0,00	0,00
PC01 (F15)	0	0	0	0,67	1,00	1,00	1,33
PC02 (F16)	0	0	0	0,67	1,00	2,00	2,00
PC03 (F17)	0	0	0	0,33	0,33	1,33	1,67

*Formulação sem fibra prebiótica e com valores percentuais (%) de açúcar e proteína semelhantes aos utilizados nas formulações de ponto central.

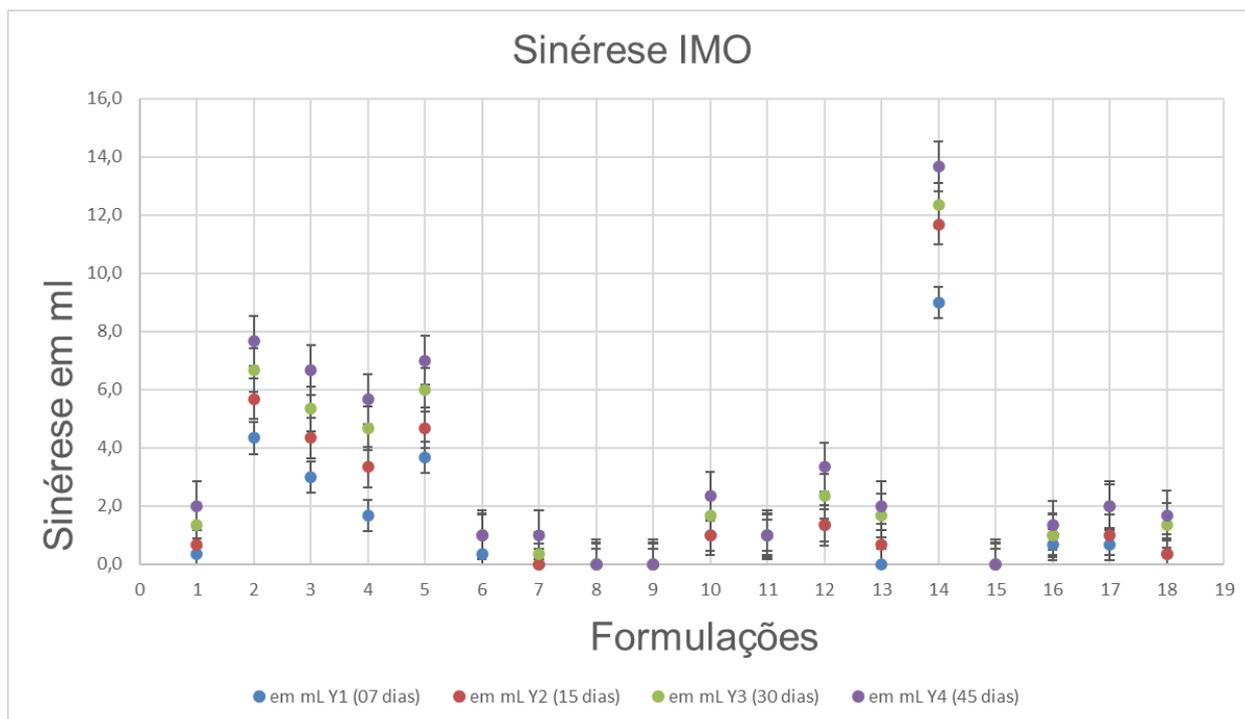


Figura 27. Gráfico com os valores de sinérese das formulações de bebida láctea com fibra prebiótica IMO analisadas após 07 dias de armazenamento a 4°C.

5.2.2.1 Avaliação Estatística do efeito das variáveis IMO, açúcar e proteína no comportamento da sinérese das formulações

Os resultados do planejamento experimental foram tratados no Software *Protimiza Experimental Design* (Rodrigues & Costa, 2022), para avaliação do efeito das variáveis dependentes: X_1 (prebiótico); X_2 (açúcar) e X_3 (proteína) na variável resposta sinérese no tempo de armazenamento de **07(Y₁)**, **15(Y₂)**, **30(Y₃)** e **45(Y₄)** dias.

A seguir estão apresentados os resultados para a variável **Y₁** (Sinérese após 7 dias de armazenamento). É possível constatar que houve cinco amostras que não apresentaram sinérese (formulações F6, F7, F8, F12 e F14) e a sinérese mais significativa constatada, foi de 9,00 mL (formulação F13). Esse comportamento pode estar associado aos percentuais de proteína (**X₃**), pois constata-se que quanto maior o teor de proteína, menor a sinérese nas amostras. Este resultado é corroborado por artigos (ROSA, L. S. *et al*, 2018; EGEEA, M. B. *et al* 2019) que indicam que quanto maior o teor de proteína láctea em uma formulação, menor a sinérese observada, com exceção da formulação F12, que apresenta maior percentual de açúcar (X_2) e percentual médio de proteína (X_3), indicando que a interação destas variáveis pode ter contribuído para a estabilidade da formulação no período avaliado.

Na **Figura 28** está o Diagrama de Pareto, que apresenta os efeitos padronizados do valor de $t_{calculado}$ para a média desses efeitos ($\mu = 1,98$), da variável linear ($X_3 = -8,73$) e da variável quadrática ($X_3^2 = 5,45$), tiveram valor-p significativos, considerando o nível de significância de **0,10 ou $\alpha=10\%$** e o gráfico que relaciona os valores experimentais com os preditos. Isto resultou nas respostas estatisticamente significativas de **média (μ)** e dos coeficientes de primeira e segunda ordem da variável Proteína (X_3) gerando a equação para predição da sinérese em 7 dias $Y_1 = 0,55 - 2,01 X_3 + 1,29 X_3^2$ (Rodrigues e lemma, 2014).

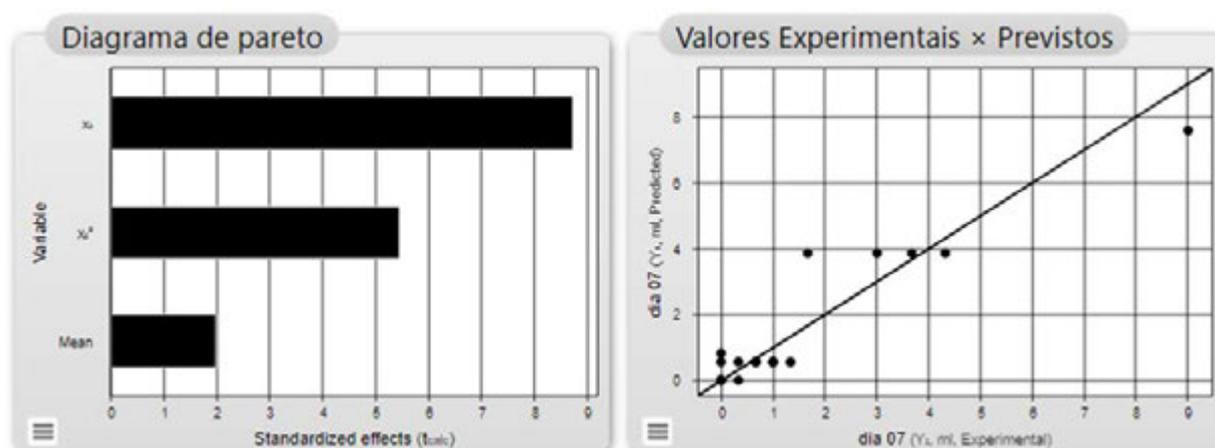


Figura 28. Diagrama de Pareto das interações das formulações com a fibra prebiótica IMO nas análises de sinérese 7 dias após sua preparação (Fonte: Protimiza, 2022).

A **Figura 29**, Análise de Variância(ANOVA), indicou uma porcentagem de variação explicada (R^2) de 88,33% e $F_{reg/res(calc)} = 53,0$ para o valor do coeficiente de regressão considerado significativo (p -valor = 0,00000), maior que o valor do $F_{reg/res(tab)} = 2,73$, nível de significância $\alpha=10\%$. Para o valor de F -calculado da falta de ajuste/erro puro, tem-se um valor $F_{fa/ep(calc)} = 21,8$ e p -valor de 0,04468. Esse valor é maior que $F_{fa/ep(tab)} = 9,41$ com nível de significância de $\alpha=10\%$ (Rodrigues e lemma, 2014).

ANOVA

Fonte de Variação	soma dos quadrados	Graus de liberdade	quadrado médio	F _{calc}	p-valor
Regressão	76,9	2	38,4	53,0	0,00000
resíduos	10,2	14	0,7		
Falta de ajuste	10,1	12	0,8	21,8	0,04468
Erro Puro	0,1	2	0,0		
Total	87,0	16			

$R^2 = 88,33\%$

Figura 29. Análise de Variância (ANOVA) das interações das formulações com a fibra prebiótica IMO nas análises de sinérese 7 dias após seu preparo (Fonte: Protimiza, 2022).

Como era esperado, observou-se que a formação de soro foi aumentando ao longo da vida de prateleira. As formulações com menores percentuais de proteína (X_3), apresentaram maiores valores de sinérese. Constatou-se também maior capacidade de predição dos modelos quanto maior o tempo de vida de prateleira, visto que os valores dos coeficientes de correlação (R^2) foram aumentando e relação entre os valores calculado e tabelado de *F-regressão/F-resíduos* foi aumentando.

Na **Tabela 15** estão apresentados os todos resultados de maneira resumida. Esta mesma análise e avaliação destes resultados foi realizada para as demais respostas relacionadas à sinérese de IMO nos dias 15, 30 e 45 dias (Y_2 , Y_3 , Y_4). Os respectivos gráficos de Pareto e valores preditos e observados e as tabelas de Análise de Variância (ANOVA) estão detalhados e apresentados no Anexo.

Tabela 15. Resumo do resultado do tratamento estatístico de Sinérese.

Resposta	Y ₁ (7° dia)	Y ₂ (15° dia)	Y ₃ (30° dia)	Y ₄ (45° dia)
Sinérese F0 (ml)	0,33	0,67	1,33	2,0
Sinérese mínima (ml)	F6 = F7 = F8 = F12 = F14 = 0	F6 = F7 = F8 = F14 = 0	F7 = F8 = F14 = 0	F7 = F8 = F14 = 0
Sinérese máxima (ml)	F13 = 9,00	F13 = 11,67	F13 = 12,33	F13 = 13,67
Sinérese média (ml)	1,59	2,18	2,78	3,31
Efeitos significativos	X ₃ =-8,73 X ₃ ² =5,45	X ₃ =-11,48 X ₃ ² =7,15	X ₃ =-15,22 X ₃ ² =7,72	X ₂ =-2,20 X ₃ =-17,87 X ₃ ² =8,54
Média dos efeitos	1,98	2,82	6,08	8,07
$\frac{F_{reg/res(calc)}}{F_{reg/res(tab)}}$	$\frac{53,0}{2,73} = 19,4$	$\frac{91,4}{2,73} = 33,5$	$\frac{145,6}{2,73} = 53,3$	$\frac{132,3}{2,53} = 52,3$
$\frac{F_{fa/ep(calc)}}{F_{fa/ep(tab)}}$	$\frac{21,8}{9,41} = 2,30$	$\frac{5,6}{9,41} = 0,6$	$\frac{2,3}{9,41} = 0,2$	$\frac{5,4}{9,40} = 0,6$
R ²	88,33	92,89	95,41	96,83
Modelo	Y ₁ = 0,55 - 2,01 X ₃ + 1,29 X ₃ ²	Y ₂ = 0,80 - 2,68 X ₃ + 1,71 X ₃ ²	Y ₃ = 1,50 - 3,08 X ₃ + 1,60 X ₃ ²	Y ₄ = 1,93 - 0,43 X ₂ - 3,51 X ₃ + 1,72 X ₃ ²
	Y ₁ = 0,55 - 2,01 X ₃ + 1,29 X ₃ ²	Y ₂ = 0,80 - 2,68 X ₃ + 1,71 X ₃ ²	Y ₃ = 1,50 - 3,08 X ₃ + 1,60 X ₃ ²	Y ₄ = 1,93 - 0,43 X ₂ - 3,51 X ₃ + 1,72 X ₃ ²
Gerou a superfície?	Não	Sim	Sim	Sim

5.2.3 Análise da reologia

A seguir estão apresentados os dados referentes ao estudo reológico realizados nas formulações de bebidas lácteas com Isomalto oligossacarídeo (IMO), ao longo de 45 dias, nos intervalos **07, 30 e 45 dias** após sua preparação. Todos os ensaios foram realizados em triplicata a 10°C.

Assim como no item 5.1.3, os resultados do estudo de comportamento reológico das formulações com IMO, foram realizados com as viscosidades determinadas nas condições de cisalhamento que simulam as tensões exercidas na mastigação humana, de 50s⁻¹ e o cisalhamento usual de escoamento de fluido alimentícios em tubulações, de 100s⁻¹ (Steffe,1996; Vitali, 1993). A **Tabela 16** apresenta os valores de “K(mPa)” e “n” médios, referentes aos ensaios de reologia das formulações IMO e da formulação F0 após 7, 30 e 45 dias de vida de prateleira.

Tabela 16. Resultados de índice de consistência (k) e comportamento de fluxo (n) utilizados para calcular os valores de tensão de cisalhamento no ponto 50s⁻¹ e 100s⁻¹, das formulações com fibra prebiótica IMO realizados dias 07, 30 e 45 a 10°C.

Formulações	Viscosidade IMO								
				07 dias		30 dias		45 dias	
	X1	X2	X3	Índice de consistência (k (mPa))	comportamento de fluxo (n)	Índice de consistência (k (mPa))	comportamento de fluxo (n)	Índice de consistência (k (mPa))	comportamento de fluxo (n)
F0*	ñ	0	0	6260,70	0,2969	5966,27	0,2694	5210,50	0,281
F1	-1	-1	-1	1901,47	0,3205	2157,27	0,3081	2017,37	0,3475
F2	1	-1	-1	1980,90	0,3289	2303,30	0,3152	2232,93	0,3304
F3	-1	1	-1	1873,77	0,3325	2190,63	0,3463	2092,77	0,3633
F4	1	1	-1	1888,00	0,3757	2189,77	0,3612	2192,23	0,3788
F5	-1	-1	1	10822,33	0,2475	13468,73	0,2219	12187,53	0,2300
F6	1	-1	1	10829,77	0,2588	13882,97	0,2351	12591,37	0,2445
F7	-1	1	1	15540,60	0,2511	17684,17	0,2342	21725,53	0,2083
F8	1	1	1	14900,97	0,2499	18555,53	0,2163	18776,27	0,2106
F9	-1,68	0	0	5656,30	0,2929	6676,50	0,2670	6128,07	0,2858
F10	1,68	0	0	6564,97	0,2907	7011,10	0,2831	6881,70	0,2908
F11	0	-1,68	0	5093,53	0,2824	5763,40	0,2591	5673,90	0,2667
F12	0	1,68	0	6300,63	0,3123	7497,73	0,2855	5870,13	0,2827
F13	0	0	-1,68	676,87	0,4034	741,53	0,3934	700,03	0,4159
F14	0	0	1,68	22091,40	0,2360	26570,80	0,1902	20137,47	0,2388
PC01	0	0	0	5882,67	0,3037	6408,37	0,2818	6196,03	0,2914
PC02	0	0	0	5407,00	0,3186	6660,23	0,2977	5581,73	0,3087
PC03	0	0	0	6399,03	0,3094	6926,20	0,2794	5997,13	0,2930

*Formulação sem fibra prebiótica e com valores percentuais (%) de açúcar e proteína semelhantes aos utilizados nas formulações de ponto central.

5.2.3.1 Avaliação Estatística do efeito das variáveis IMO, açúcar e proteína no comportamento da viscosidade das formulações

Os resultados do planejamento experimental foram tratados no Software *Protimiza Experimental Design* (Rodrigues & Costa, 2022), para avaliação do efeito das variáveis dependentes: X_1 (prebiótico); X_2 (açúcar) e X_3 (proteína) nas variáveis resposta viscosidade em 50^{-1} e 100 s^{-1} , no tempo de armazenamento de **(Y_1) 07**, **(Y_2) 30** e **(Y_3) 45** dias.

A **Tabela 17** apresenta os valores médios das viscosidades em centipoise (cP) e seus respectivos desvios na taxa de cisalhamento de 50 s^{-1} , valor que mais se assemelha a tensão exercida pelo humano na ação da mastigação (STEFFE, 1996). Na **Figura 30** estão estes valores de viscosidade das 17 formulações com IMO, além da formulação F0 (sem adição de fibra) ao longo de 45 dias, apresentados na forma de gráfico.

Tabela 17. Resultado de viscosidade (cP) com tensão de cisalhamento no ponto 50 s^{-1} , das formulações com IMO realizados dias 07, 30 e 45 após seu preparo.

Formulações	Viscosidade Aparente (cP) IMO								
				07 dias (50 1/s)		30 dias (50 1/s)		45 dias (50 1/s)	
	X1	X2	X3	Y1	DP	Y2	DP	Y3	DP
F0*	ñ	0	0	398,94	20,08	342,38	8,57	312,98	13,99
F1	-1	-1	-1	133,24	3,33	144,01	1,87	157,11	7,27
F2	1	-1	-1	143,44	3,26	158,09	3,27	162,65	8,44
F3	-1	1	-1	137,61	2,67	169,81	2,45	173,38	13,27
F4	1	1	-1	164,19	2,50	179,93	3,55	192,97	14,18
F5	-1	-1	1	569,96	14,77	641,74	25,02	599,39	4,99
F6	1	-1	1	596,13	22,73	696,53	24,52	655,39	6,63
F7	-1	1	1	830,06	42,51	884,12	27,38	981,51	49,04
F8	1	1	1	792,17	11,91	864,95	26,33	855,94	51,73
F9	-1,68	0	0	355,79	9,87	379,49	6,63	374,90	5,13
F10	1,68	0	0	409,41	12,53	424,42	25,83	429,33	31,62
F11	0	-1,68	0	307,49	10,72	317,62	11,28	322,13	8,58
F12	0	1,68	0	427,57	26,48	458,16	36,69	354,79	7,62
F13	0	0	-1,68	65,60	3,01	69,11	2,74	71,24	4,76
F14	0	0	1,68	1112,27	21,34	1118,35	5,13	1025,06	40,15
PC01	0	0	0	385,99	18,00	385,96	15,98	387,46	6,80
PC02	0	0	0	376,08	10,23	426,88	19,21	373,48	10,76
PC03	0	0	0	429,34	15,63	413,25	15,78	377,37	8,54

*Formulação sem fibra prebiótica e com valores percentuais (%) de açúcar e proteína semelhantes aos utilizados nas formulações de ponto central.

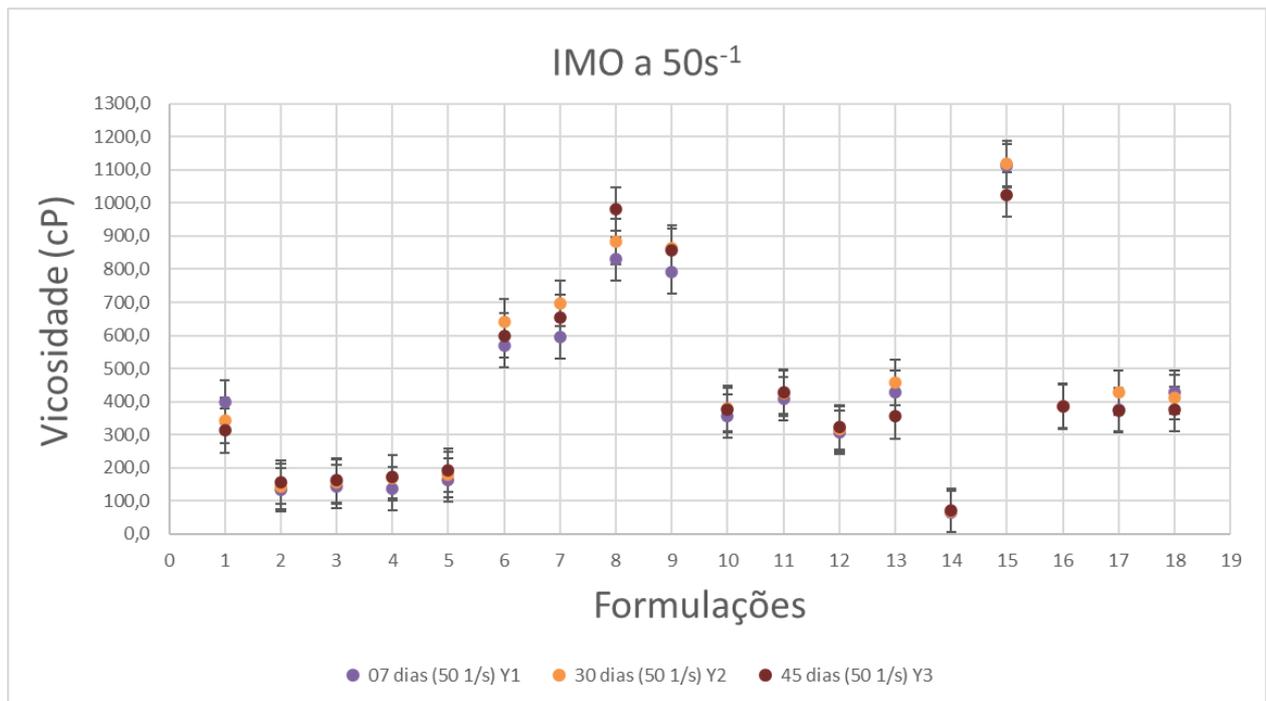


Figura 30. Gráfico com os resultados de viscosidade em cP das formulações com IMO e formulação sem fibra (F0), analisadas ao longo de 45 após seu preparo a 10°C na tensão de cisalhamento 50s-1(Y1).

A seguir estão apresentados os resultados das análises realizada para a variável Y_1 (Viscosidade a 50 s⁻¹ após 07 dias de armazenamento).

A viscosidade das amostras variou de 65,6 cP (F13) à 1112,3 cP (F14). O menor valor de viscosidade foi observado na amostra com menor teor de proteína (nível -1,68 para X_3). A formulação com maior valor de viscosidade apresentava nível +1,68 para proteína e nível 0 para açúcar e IMO. Dentre as amostras F1 a F8, de uma maneira geral, todas as formulações com nível +1 em proteína apresentaram viscosidades mais elevadas, seguidas das que tinham níveis +1 em açúcar. Esta análise inicial indica que a fibra teve pouca influência para os valores de viscosidade.

Na **Figura 31** estão o Diagrama de Pareto, que apresenta os efeitos padronizados do valor de t_{cal} para a média desses efeitos ($\mu = 30,11$), e das variáveis ($X_2 = 4,94$), ($X_3 = 28,69$), ($X_3^2 = 6,55$) e da interação ($X_2 X_3 = 4,07$) que apresentaram valor-p significativos, considerando nível de significância de **0,10** ou $\alpha=10\%$, e o gráfico que relaciona os valores experimentais com os preditos. Esta análise gerou a equação $Y_1 = 371,1 + 50,02 X_2 + 290,71 X_3 + 67,93 X_3^2 + 53,88 X_2 X_3$ (Rodrigues e lemma, 2014).

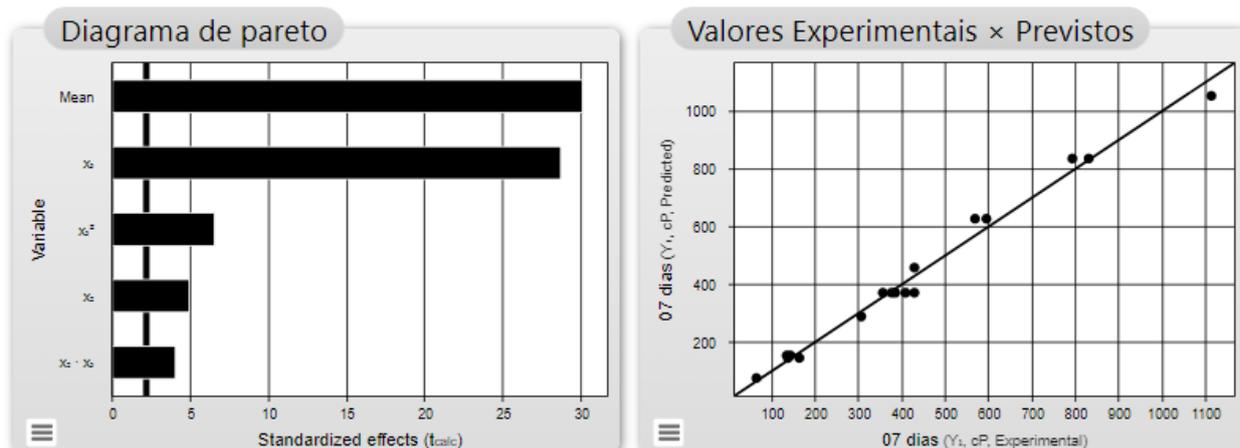


Figura 31. Diagrama de Pareto das interações das formulações com IMO nas análises reológicas no ponto de tensão de cisalhamento 50s-1 após 7 dias do seu preparo (Fonte: Protimiza, 2022).

Na **Figura 32**, Análise de Variância (ANOVA) indicou uma porcentagem de variação explicada (R^2) de 98,69% e $F_{reg/res(calc)} = 226,7$, para o valor do coeficiente de regressão considerado altamente significativo (p -valor = 0,00000), maior que o valor do $F_{reg/res(tab)} = 2,48$, nível de significância de 0,10 ou $\alpha=10\%$. Para o valor de $F_{calculado}$ da falta de ajuste/erro puro, tem-se um valor $F_{fa/ep(calc)} = 1,9$ e p -valor de 0,39898. Esse valor é menor que o $F_{fa/ep(tab)} = 9,39$ com nível de significância de $\alpha=10\%$ (Rodrigues e lemma, 2014).

As relações de F -tabelado e F -calculado e o alto R^2 indicam que o modelo é preditivo.

ANOVA					
Fonte de Variação	Soma dos Quadrados	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	F_{calc}	p -valor
Regressão	1271654,6	4	317913,7	226,7	0,00000
Resíduos	16826,0	12	1402,2		
Falta de Ajuste	15221,1	10	1522,1	1,9	0,39421
Erro Puro	1604,9	2	802,5		
Total	1288480,6	16			

$R^2 = 98,69\%$

Figura 32. Análise de Variância (ANOVA) das formulações com IMO nas análises reológicas no ponto de tensão de cisalhamento 50s-1 após 7 dias do seu preparo (Fonte: Protimiza, 2022).

Na **Figura 33** é possível verificar, através da superfície de resposta da interação entre Açúcar (X_2) e Proteína (X_3), os valores associados a essa interação, indicando que onde havia maior percentual das variáveis citadas, foram encontrados os maiores valores de viscosidade (cP), mas também é possível avaliar que a variável que mais influenciou esses valores de viscosidade foi (X_3).

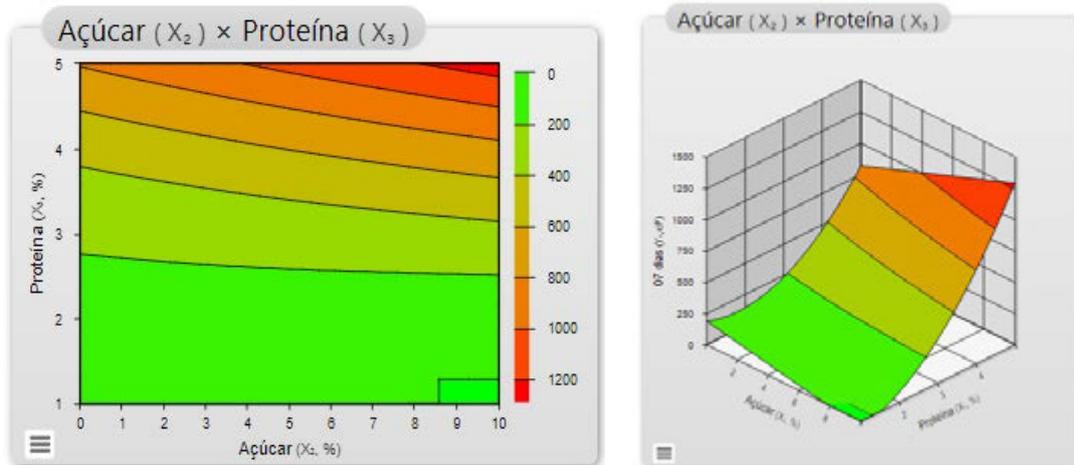


Figura 33. Superfície de resposta da interação Açúcar (X_2) e Proteína (X_3) das formulações com a fibra prebiótica IMO nas análises reológicas no ponto de tensão de cisalhamento 50s-1 após 7 dias do seu preparo (Fonte: Protimiza, 2022).

Nos resultados dos dias 30(Y_2) e 45(Y_3), os ajustes do modelo se mostraram ainda mais robustos, com valores de R^2 mais próximos de 100%. A proteína(X_3) confirmou a avaliação do dia 07(Y_1) e foi a variável de maior influência na viscosidade, seguida do açúcar(X_2).

Estas análises e avaliações dos resultados foi realizada para as outras respostas relacionadas à viscosidade determinada, na taxa de deformação à 50 s^{-1} após 30 e 45 dias (Y_2, Y_3). Os respectivos Diagramas de Pareto e valores preditos e observados e as tabelas de Análise de Variância (ANOVA) estão detalhadas e apresentadas no anexo. A seguir é apresentada a **Tabela 18**, com resumo destes resultados.

Tabela 18. Resumo do resultado do tratamento estatístico – Viscosidade 50s-1.

Respostas	Y ₁ (viscosidade 50s ⁻¹ 7° dia)	Y ₂ (viscosidade 50s ⁻¹ 30° dia)	Y ₃ (viscosidade 50s ⁻¹ 45° dia)
Viscosidade F0 (cP)	398,94	342,37	312,98
Viscosidade mínima (cP)	F13 = 65,60	F13= 69,11	F13= 71,24
Viscosidade máxima (cP)	F14 = 1112,27	F14 = 1118,35	F14 = 1025,06
Viscosidade média (cP)	425,67	454,85	440,83
Efeitos significativos	X ₂ =4,94 X ₃ =28,69 X ₃ ² =6,55 X ₂ X ₃ =4,07	X ₂ =9,00 X ₃ =54,43 X ₃ ² =11,76 X ₂ X ₃ =6,15	X ₂ =3,31 X ₃ =19,39 X ₃ ² =4,25 X ₂ X ₃ =3,39
Média dos efeitos	30,11	58,23	21,05
$\frac{F_{reg/res(calc)}}{F_{reg/res(tab)}}$	$\frac{226,7}{2,48} = 91,4$	$\frac{805,0}{2,48} = 324,6$	$\frac{104,1}{2,48} = 42,0$
$\frac{F_{fa/ep(calc)}}{F_{fa/ep(tab)}}$	$\frac{1,9}{9,39} = 0,2$	$\frac{1,0}{9,39} = 0,1$	$\frac{72,1}{9,39} = 7,67$
R ²	98,69	99,63	97,20
Modelo	Y ₁ = 371,1 + 50,02 X ₂ + 290,71 X ₃ + 67,93 X ₃ ² + 53,88 X ₂ X ₃	Y ₂ = 400,22 + 50,88 X ₂ + 307,55 X ₃ + 68,0 X ₃ ² + 45,4 X ₂ X ₃	Y ₃ = 387,88 + 50,10 X ₂ + 293,64 X ₃ + 65,92 X ₃ ² + 67,01 X ₂ X ₃
Gerou a superfície?	Sim	Sim	Sim

A **Tabela 19** estão apresentados os resultados dos valores médios das viscosidades em centipoise (cP) e seus respectivos desvios na taxa de cisalhamento de 100s^{-1} , que é muito usual em tubulações para escoamento de fluidos alimentícios (STEFFE, 1996), das formulações com **IMO**, nos intervalos **07, 30 e 45 dias** após seu preparo. A **Figura 34** apresenta esses valores na forma de gráfico.

Tabela 19. Resultados de viscosidade (cP) com tensão de cisalhamento no ponto 100s^{-1} , das formulações com IMO, nos dias 07, 30 e 45 após seu preparo.

Formulações	Viscosidade Aparente (cP) IMO								
				07 dias (100 1/s)		30 dias (100 1/s)		45 dias (100 1/s)	
	X1	X2	X3	Y1	DP	Y2	DP	Y3	DP
F0*	ñ	0	0	244,98	10,35	206,34	5,65	190,18	9,74
F1	-1	-1	-1	83,19	2,56	89,15	0,57	99,95	4,27
F2	1	-1	-1	90,09	2,51	98,34	2,74	102,25	5,99
F3	-1	1	-1	86,64	1,46	107,94	2,24	111,51	8,55
F4	1	1	-1	106,51	1,66	115,56	2,80	125,45	10,68
F5	-1	-1	1	338,31	6,57	374,22	12,09	351,49	5,74
F6	1	-1	1	356,63	12,90	409,90	10,23	388,22	2,49
F7	-1	1	1	493,93	14,04	519,98	11,41	566,98	21,38
F8	1	1	1	470,99	5,76	502,43	10,21	495,23	23,48
F9	-1,68	0	0	217,94	5,01	228,32	3,03	228,52	3,51
F10	1,68	0	0	250,40	6,73	258,22	14,45	262,60	18,71
F11	0	-1,68	0	186,99	5,79	190,05	6,51	193,77	6,10
F12	0	1,68	0	265,45	16,75	279,21	21,07	215,80	4,80
F13	0	0	-1,68	43,38	2,34	45,39	1,30	47,52	3,00
F14	0	0	1,68	654,97	9,93	637,98	2,86	604,79	18,94
PC01	0	0	0	238,22	11,99	234,61	11,11	237,09	5,97
PC02	0	0	0	234,51	6,31	262,35	10,45	231,30	7,25
PC03	0	0	0	266,02	8,93	250,78	9,44	231,18	5,83

*Formulação sem fibra prebiótica e com valores percentuais (%) de açúcar e proteína semelhantes aos utilizados nas formulações de ponto central.

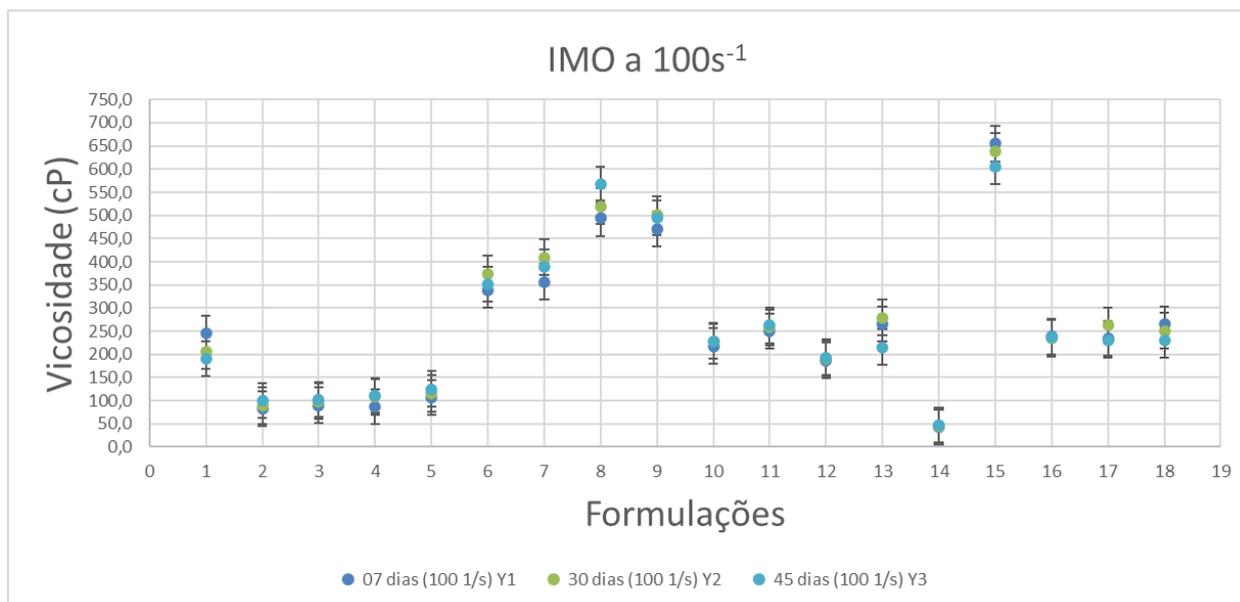


Figura 34. Gráfico com os resultados de viscosidade em cP das formulações com IMO analisadas ao longo de 45 dias de armazenamento, na tensão de cisalhamento 100s-1.

O comportamento da viscosidade nesta taxa de deformação foi bem similar ao comportamento da viscosidade na taxa de deformação de 50s⁻¹, com diferencial que todas as viscosidades foram proporcionalmente menores. Este comportamento é esperado para fluidos pseudoplástico cujas viscosidades diminuem com o aumento da taxa de deformação numa mesma temperatura.

A seguir são apresentados os resultados da avaliação estatística dos resultados de viscosidade após 7 dias de vida de prateleira. A viscosidade das amostras variou de 43,38 cP (F13) à 654,97 cP (F14). A menor viscosidade foi constatada para a amostra com menor teor de proteína (nível -1,68 para X₃). A amostra mais viscosa apresentava nível +1,68 para proteína e nível 0 para açúcar e para o prebiótico. A segunda amostra mais viscosa (F7 = 493,9 cP) também apresentava nível +1 para proteína e açúcar e nível -1 para prebiótico. Assim como aconteceu para as viscosidades a 50 s⁻¹, observou-se pouca influência do IMO na viscosidade das amostras. Todos os outros pares de formulações com mesmo nível na proteína e açúcar tiveram viscosidades similares, independentemente do nível do prebiótico: pares F1 e F2; F3 e F4; F5 e F6, F7 e F8. Este fato confirma o impacto dos percentuais de proteína e açúcar no efeito da viscosidade, e menor efeito do prebiótico (observação feita anteriormente).

Na **Figura 35** estão o Diagrama de Pareto, que apresenta os efeitos padronizados do valor de $t_{calculado}$ para a média desses efeitos ($\mu = 30,05$) e das variáveis ($X_2 = 4,95$), ($X_3 = 27,22$), ($X_3^2 = 5,76$) e da interação ($X_2 X_3 = 3,83$) com valor-p

significativos, considerando nível de significância de $\alpha=10\%$, e o gráfico que relaciona os valores experimentais com os preditos. A equação gerada para a superfície de resposta foi $Y_1 = 228,33 + 30,89 X_2 + 170,03 X_3 + 36,81 X_3^2 + 31,26 X_2X_3$ (Rodrigues e lemma, 2014).

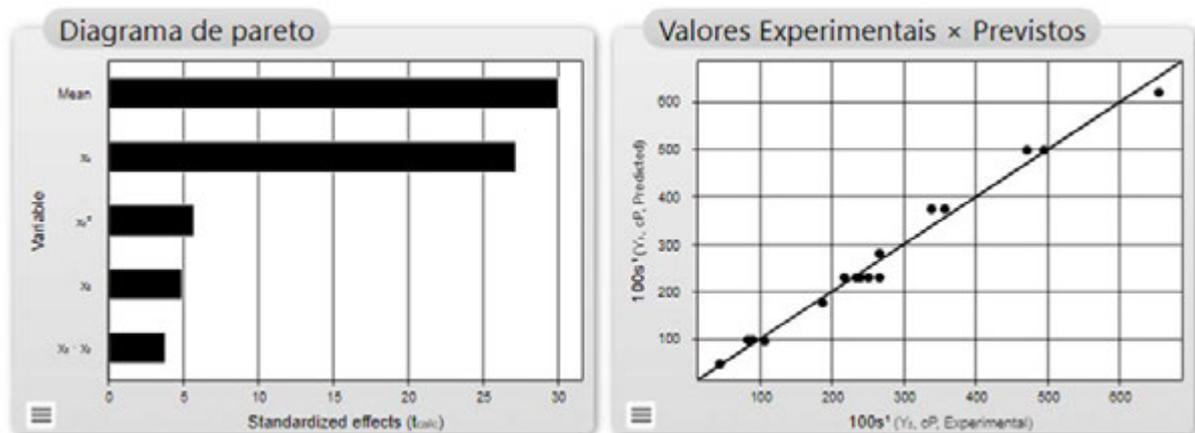


Figura 35. Diagrama de Pareto das interações das formulações com a fibra prebiótica IMO nas análises reológicas no ponto de tensão de cisalhamento 100s-1 após 7 dias do seu preparo (Fonte: Protimiza, 2022).

Na **Figura 35**, Análise de Variância (ANOVA), indicou uma porcentagem de variação explicada (R^2) de 98,55% e $F_{reg/res(calc)} = 203,3$ para o valor do coeficiente de regressão considerado altamente significativo (p-valor = 0,00000), maior que o valor do $F_{reg/res(tab)} = 2,48$ nível de significância de $\alpha=10\%$. Para o valor de F -calculado da falta de ajuste/erro puro, tem-se um valor $F_{fa/ep(calc)} = 2,0$ e p-valor de 0,38549. Esse valor é menor que o F -tabelado ($F_{fa/ep(tab)} = 9,39$) com nível de significância de $\alpha=10\%$ (Rodrigues e lemma, 2014).

ANOVA						
Fonte de Variação	soma dos quadr.	Graus de liberdade	quadrado méo	F calc	p-valor	
Regressão	433297.0	4	108324.2	203.3	0,00000	
resíduos	6393.2	12	532,8			
Falta de ajuste	5799,9	10	580,0	2.0	0,38549	
Erro Puro	593,3	2	296,6			
Total	439690.1	16				

$R^2 = 98,55\%$

Figura 36. Análise de Variância (ANOVA) das formulações com IMO nas análises reológicas no ponto de tensão de cisalhamento 100s-1 após 07 dias do seu preparo (Fonte: Protimiza, 2022).

Na **figura 37** é possível verificar, através da superfície de resposta da interação entre Açúcar (X_2) e Proteína (X_3), os valores associados a essa interação, indicando que onde havia maior percentual das variáveis foram encontrados os maiores valores de viscosidade (cP), mas também é possível avaliar que a variável que mais influenciou esses valores de viscosidade foi (X_3).

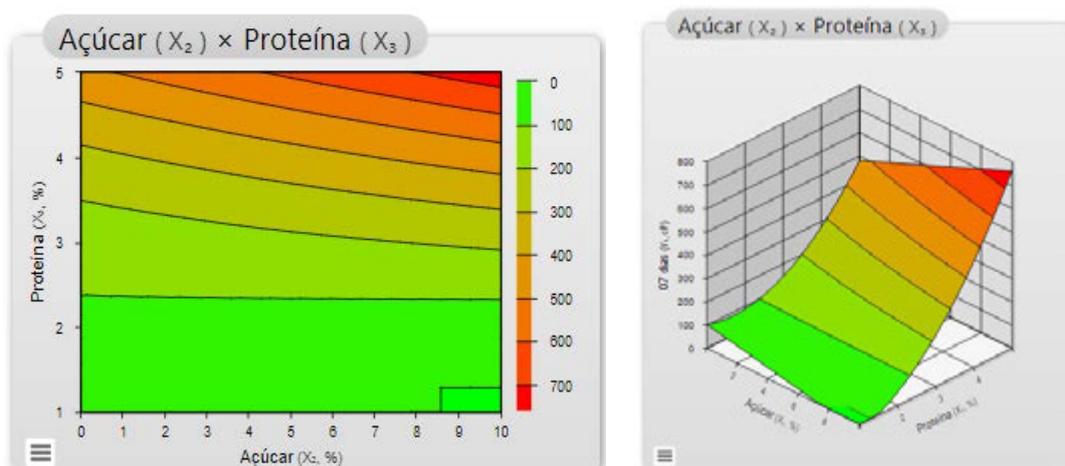


Figura 37. Superfície de resposta da interação Açúcar (X_2) e Proteína (X_3) das formulações com a fibra prebiótica IMO nas análises reológicas no ponto de tensão de cisalhamento 100s^{-1} após 7 dias do seu preparo (Fonte: Protimiza, 2022).

Assim como ocorreu com o comportamento da viscosidade a 100 s^{-1} , apenas a proteína e o açúcar tiveram efeitos significativos nas viscosidades a ponto de que seus coeficientes lineares e/ou quadráticos serem importantes na equação de predição deste parâmetro aos 30 dias e 45 dias. As relações de *F-calculado* e *F-tabelado* e os valores de R^2 se mostraram consistentes, confirmando a capacidade de predição dos modelos matemáticos nos três dias de análise.

Esta mesma análise e avaliação de resultados foi realizada para as outras respostas relacionadas à viscosidade determinada na taxa de deformação à 100 s^{-1} para 30 e 45 dias (Y_2 e Y_3). Os respectivos gráficos de Pareto e valores preditos e observados e as tabelas de Análise de Variância (ANOVA) estão todos detalhados e apresentados no anexo. A seguir é apresentada a **Tabela 20**, com resumo destes resultados.

Tabela 20. Resumo do resultado do tratamento estatístico – Viscosidade 100s-1.

Respostas	Y ₁ (viscosidade 100s ⁻¹ 7° dia)	Y ₂ (viscosidade 100s ⁻¹ 30° dia)	Y ₃ (viscosidade 100s ⁻¹ 45° dia)
Dia da análise	7° dia	30° dia	45° dia
Viscosidade F0 (cP)	244,98	206,34	190,18
Viscosidade mínima (cP)	F13 = 43,38	F13= 45,39	F13= 47,52
Viscosidade máxima (cP)	F14 = 654,97	F14 = 637,98	F14 = 604,97
Viscosidade média (cP)	425,67	454,85	440,83
Efeitos significativos	X ₂ =4,95 X ₃ =27,22 X ₃ ² =5,76 X ₂ X ₃ =3,83	X ₁ =1,89 X ₂ =9,41 X ₃ =53,08 X ₃ ² =10,26 X ₂ X ₃ =5,86	X ₂ =3,40 X ₃ =19,86 X ₃ ² =4,21 X ₂ X ₃ =3,25
Média dos efeitos	30,05	60,54	22,78
$\frac{F_{reg/res(calc)}}{F_{reg/res(tab)}}$	$\frac{203,3}{2,48} = 82,0$	$\frac{609,9}{2,45} = 248,9$	$\frac{108,6}{2,48} = 43,8$
$\frac{F_{fa/ep(calc)}}{F_{fa/ep(tab)}}$	$\frac{2,0}{9,39} = 0,2$	$\frac{0,7}{9,38} = 0,1$	$\frac{102,9}{9,39} = 10,9$
R ²	98,55	99,64	97,31
Modelo	Y ₁ = 228,33 + 30,89 X ₂ + 170,03 X ₃ + 36,81 X ₃ ² + 31,26 X ₂ X ₃	Y ₂ = 243,01 + 6,24 X ₁ + 31,06 X ₂ + 175,16 X ₃ + 34,65 X ₃ ² + 25,28 X ₂ X ₃	Y ₃ = 234,97 + 28,87 X ₂ + 168,41 X ₃ + 36,55 X ₃ ² + 35,97 X ₂ X ₃
Gerou a superfície?	Sim	Sim	Sim

6 CONCLUSÕES

A adição dos potenciais prebióticos XOS e IMO, que apresentam benefícios a saúde, nas formulações estudadas, teve baixa influência nos resultados de viscosidade e na estabilidade durante a estocagem (redução de pH e aumento sinérese) das mesmas. Isto indica a possibilidade de sua aplicação pelos laticínios, em bebidas lácteas fermentadas ou iogurtes, agregando benefícios a esses produtos. Adicionalmente fica demonstrada a relevância da presença da proteína para os indicadores analisados, como a viscosidade, uma vez que, o aumento do percentual de proteína, resultou em aumento da viscosidade, assim como sua interação com maiores percentuais de açúcar também tiveram impacto nos resultados avaliados.

Outros aspectos de destaque foram, a coloração e a viscosidade. As formulações com XOS apresentavam cor mais amarelada e as amostras com IMO, uma coloração mais próxima do branco. Já para a viscosidade as formulações com IMO, apresentaram valores quase duas vezes maiores para algumas das formulações analisadas, em comparação com as formulações com XOS.

Para os resultados de pH e sinérese, as características tanto de estabilidade do pH como de separação de soro seguiram uma tendência semelhante, com os valores sendo influenciados principalmente pela variável proteína (X_3). Outro ponto observado foi que, nos resultados de pH e sinérese para as formulações com XOS houve maior variação ao longo da estocagem em relação às formulações com IMO.

Os resultados obtidos indicam que as fibras XOS e IMO tem um potencial favorável para incorporação em produtos lácteos fermentados. Com um maior aprofundamento em estudos sensoriais é possível desenvolver formulações que atendam as demandas do mercado, agregando valor funcional às formulações, sem mudança significativa em suas características.

7 REFERÊNCIAS

1. ARTILHA, C. A. F.; DA SILVA, D. D. M. B.; ALVES, E., DE SOUSA, L. C. S.; SAQUETI, B. H. F.; STAFUSSA, A. P. & MADRONA, G. S. (2020). Leites fermentados uma revisão/Fermented milk-a review. *Brazilian Journal of Development*, 6, 1, 4956- 4968.
2. ATALA, D. I. P.; COSTA, A. C.; MACIEL, R. and MAUGERI, F. Kinetics of ethanol fermentation with high biomass concentration considering the effect of temperature. **Applied Biochemistry and Biotechnology**, Totowa; Heidelberg, v.91-93, n.19, p.353-366, 2001.
3. BARROS, C.P.; VERRUCK, S.; PRUDÊNCIO, E.S.; ZACARCHENCO, P.B.; CRUZ, A.G. Probióticos, prebióticos, paraprobióticos e pós-bióticos de nova geração (Capítulo 1). In: CRUZ, A.G.; SILVA E ALVES, A.T.; PRUDÊNCIO, E.S.; ESMERINO, E.A.; SPADOTI, L.M.; SILVA, M.C.; MESSORA, M.R.; ZACARCHENCO, P.B.; PIMENTEL, T.C. Probióticos e Prebióticos - desafios e avanços. São Paulo: Editora Setembro, 2020. 378 p. E-book. ISBN 978-65-88947-01-2.
4. BARROS, H. D. F. Q.; et al. Produtos lácteos funcionais. (Capítulo 10). Páginas 271- 295. In: CRUZ, A. G. et al. Processamento de produtos lácteos: queijos, leites fermentados, bebidas lácteas, sorvete, manteiga, creme de leite, doce de leite, soro em pó e lácteos funcionais. Vol.3. [s.l.] Gen LTC, 2017.
5. BINDELS LB.; DELZENNE NM.; CANI P.; Walter J (2015) Towards a more comprehensive concept for prebiotics. *Nat Rev Gastroenterol Hepatol* 12:303–310.
6. BRASIL. Instrução normativa - in nº 75, de 8 de outubro de 2020. DOU nº195, 9/10/2020. Requisitos técnicos para declaração da rotulagem nutricional nos alimentos embalados. Disponível em http://antigo.anvisa.gov.br/documents/10181/3882585/IN+75_2020_.pdf/7d74fe2d-e187-4136-9fa2-36a8dcfc0f8f. Consultado em 01/06/2023.
7. BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). Instrução Normativa nº 46, de 23 de outubro de 2007. Regulamento técnico de identidade e qualidade de leites fermentados. Instrução Normativa, 24 de outubro de 2007. Disponível em https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/defesa-agropecuaria/copy_of_suasa/regulamentos-tecnicos-de-identidade-e-qualidade-de-produtos-de-origem-animal-1/rtiq-leite-e-seus-derivados.
8. BRITO, C.B.S.; TRENTO, F.K.H.; BERTO, M.I.; PEREIRA, R.A.; ZACARCHENCO, P.B. Estudo do efeito da sacarose e das temperaturas de incubação e do tratamento térmico do leite no processo de fermentação e nas características reológicas de leites fermentados. Anais do 15º Congresso Interinstitucional de Iniciação Científica CIIC 2021, 01 a 02/09/2021. ISBN 978-65-994972-0-9. Disponível em <https://www.cnpm.embrapa.br/ciic/anais/index.html#>
9. Brookfield **Brookfield R/S+ Rheometer - Operating Instructions. Manual N° M08-219**. Middleboro, USA: Brookfield Engineering Laboratories Inc., 2012.

10. CARNEIRO, CS et al. Leites fermentados: histórico, composição, características físicas-químicas, tecnologia de processamento e defeitos. BARVET, Londres n / D,v. 6, n. 27, Ed. 214, Arte. 1424, 2012.
11. CRUZ, A. G. et al. Processamento de produtos lácteos: queijos, leites fermentados, bebidas lácteas, sorvete, manteiga, creme de leite, doce de leite, soro em pó e lácteos funcionais. Vol.3. [s.l.] Gen LTC, 2017.
12. CRUZ, A.G.; SILVA E ALVES, A.T.; PRUDÊNCIO, E.S.; ESMERINO, E.A.; SPADOTI, L.M.; SILVA, M.C.; MESSORA, M.R.; ZACARCHENCO, P.B.; PIMENTEL, T.C. Probióticos e Prebióticos - desafios e avanços. São Paulo: Editora Setembro, 2020. 378 p. E-book. ISBN 978-65-88947-01-2.
13. CUESTA-TRIANA, F., VERDEJO-BRAVO, C., FERNÁNDEZ-PÉREZ, C., & MARTÍN-SÁNCHEZ, F. J. (2019). Effect of milk and other dairy products on the risk of frailty, sarcopenia, and cognitive performance decline in the elderly: a systematic review. *Advances in Nutrition*, 10(suppl_2), S105-S119.
14. EGEEA, M. B.; GOMES, A. C. G.; LIMA, M. S. de; TAKEUCHI, K. P. Relação entre as características físico-químicas e reológica e o valor comercial de iogurte integral com sabor morango. **Segurança Alimentar e Nutricional**, Campinas, SP, v. 26, p. e019003, 2019. DOI: 10.20396/san.v26i0.8652948. Disponível em: <https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/san/article/view/8652948>. Acesso em: 1 ago. 2023.
15. FARIAS, L. F.; ZACARCHENCO, P.B.; PEREIRA, R.A.; SILVA E ALVES, A.T.; BERTO, M.I. Estudo do efeito de redução de açúcar e adição de prebiótico na viscosidade de iogurtes e bebidas lácteas fermentadas. Anais do 16º Congresso Interinstitucional de Iniciação Científica CIIC 2022, 30 a 31/08/2022. ISBN 978-65-88414-07-1. Disponível em: <https://ciic.iac.sp.gov.br/arquivos/posteres/PO22214.pdf>.
16. FSSAI, Nutraceutical regulation (2016), ammended in 2022. "https://www.fssai.gov.in/upload/advisories/2022/03/6243ef28079ceDirection_Nutra_30_03_2022.pdf".
17. GIBSON, G. R.; HUTKINS, R.; SANDERS, M.E.; PRESCOTT, S. L.; REIMER, R. A.; SALMINEN, S. J.; SCOTT, K.; STANTON, C.; SWANSON, K. S.; CANI, P. D.; VERBEKE, K.; REID, G. Expert consensus document: The International Scientific Association for Probiotics and Prebiotics (ISAPP) consensus statement on the definition and scope of prebiotics. *Nature Reviews Gastroenterology & Hepatology*, v. 14, p. 491–502, 2017.
18. GIBSON, G. R.; ROBERFROID, M. B. Dietary modulation of the human colonic microbiota: introducing the concept of prebiotics. *The Journal of Nutrition*, v.125, p.1401-1412, 1995.
19. GRAIDIST, P.; PLONGBUNJONG, V.; WICHIENTHOT, S.; MADLA, S., BUNYAPIPAT, P.; & KNUDSEN, K. (2019). Isomalto-oligosaccharides from rice and their potential use as pharma-nutraceuticals in prevention of colon cancer. *Functional Foods in Health and Disease*, 9 (6), 371–383.
20. HERNANDEZ-HERNANDEZ, O.; MUTHAIYAN, A.; MORENO, F.J.; MONTILLA, A.; SANZ, M.L., RICKE, S.C. Effect of prebiotic carbohydrates on the growth and tolerance of Lactobacillus. *Food Microbiology*, v. 30, p. 355-361, 2012.

21. INSTITUTO ADOLFO LUTZ (IAL). Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz. v. 1: Métodos químicos e físicos para análise de alimentos, 3. ed. São Paulo, 2008. Disponível em: <http://www.ial.sp.gov.br/resources/ediorinplace/ial/2016_3_19/analisedealimentosial_colonic_2008.pdf>. Acesso em: 28 fev. 2023.7.
22. INTERNATIONAL DAIRY FEDERATION. **Milk, cream and evaporated milk – Determination of total solids content**. Brussels, 2010 (IDF 21:2010).
23. KANEKO, T.; YOKOYAMA, A.; & SUZUKI, M. (1995). Digestibility characteristics of isomaltooligosaccharides in comparison with several saccharides using the rat jejunum loop method. *Bioscience, biotechnology, and biochemistry*, 59(7), 1190–1194.
24. KOKSOY, A.; KILIC, M. Use of hydrocolloids in textural stabilization of a yoghurt drink, ayran. **Food hydrocolloids**, v. 18, n. 4, p. 593-600, 2004.
25. KUMAR, S.; TISSOPI, T.; MUTTURI, S. The successful synthesis of industrial isomaltooligosaccharides lies in the use of transglycosylating α -glucosidases: A review. **Carbohydrate Polymer Technologies and Applications**, p. 100325, 2023.
26. LAN, J.; WANG, K.; CHEN, G.; CAO, G., & YANG, C. (2020). Effects of inulin and isomaltooligosaccharide on diphenoxylate-induced constipation, gastrointestinal motility-related hormones, short-chain fatty acids, and the intestinal flora in rats. *Food & function*, 11(10), 9216–9225.
27. MADSEN, L. R.; STANLEY, S. SWANN, P., & OSWALD, J. (2017). A survey of commercially available isomaltooligosaccharide-based food ingredients. *Journal of Food Science*, 82 (2), 401–408.
28. MATTILA-SANDHOLM, T.; MYLLÄRINEN, P.; CRITTENDEN, R.; MOGENSEN, G.; FONDÉN, R.; SAARELA, M. Technological challenges for future probiotic foods. *International Dairy Journal*. v.12, p.173-182, 2002.
29. MEIRELES, M. A.; PEREIRA, C. G. Fundamentos de engenharia de alimentos. Atheneu, **2013**. 832 p. v. 6.
30. NGUYEN, T. T. H.; LEE, D. G.; APU, M. A. I.; JUNG, J. H., KIM, M. K.; LIM, S.; CHUNG, B., PAL, K., & KIM, D. (2022). The bifidogenic effects and dental plaque deformation of non-digestible isomaltooligosaccharides synthesized by dextransucrase and alternansucrase. *Enzyme and Microbial Technology*, 153, Article 109955.
31. PLONGBUNJONG, V.; GRAIDIST, P.; KNUDSEN, K. E. B.; & WICHIENTHOT, S. (2017). Isomaltooligosaccharide synthesised from rice starch and its prebiotic properties in vitro. *International Journal of Food Science & Technology*, 52(12), 2589–2595.
32. PRECUP, G.; POCOL, C. B.; TELEKY, B. E.; & VODNAR, D. C. (2022). Awareness, Knowledge, and Interest about Prebiotics—A Study among Romanian Consumers. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(3), 1208.
33. RIBEIRO, E.P. Produtos lácteos com alto teor de proteínas. (Capítulo 2), páginas 20 – 23. In: In: SPADOTI, L.M.; ZACARCHENCO, P.B.; SILVA E ALVES, A.T. (organizadores). LÁCTEOS E SAÚDE: SINOPSE DOS TEXTOS E PALESTRAS. 1. ed., Campinas: ITAL, 2016. Disponível em <https://www.ital.agricultura.sp.gov.br/arquivos/tl/publicacoes/SimposioLacteosSaude/2/#zoom=z>

- 34 RODRIGUES, M. I.; COSTA, P. Software: Protimiza Experimental Design Campinas: Protimiza, 2022. Disponível em:<<https://experimental-design.protimiza.com.br/>>.
- 35 RODRIGUES, M. I.; IEMMA, A.F.; Planejamento de experimentos e otimização de processos: 3ª. Ed. Campinas-SP: Casa do Espírito Amigo Fraternidade Fé e Amor. 2014.
- 36 ROSA, L. S.; BORTOLI, G.; BACCIN, M. Avaliação de requisitos mínimos de qualidade físico-química de bebidas lácteas comercializadas no município de Erechim – RS. Artigo do 6º Simpósio de Segurança Alimentar 2018, 15 a 18/05/2018, FAURGS-Gramado-RS. Disponível em: http://www.schenautomacao.com.br/ssa/envio/files/319_arqnovos.pdf
- 37 SACCARO, D. M. Efeito da associação de culturas iniciadoras e probióticos na acidificação textura e viabilidade em leite fermentado. sãopauéis,2008.119f. Dissertação (Mestrado em tecnologia de alimentos) –Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.
- 38 SHAH, N. P. Functional cultures and health benefits. International Dairy Journal, Oxford, v. 17, n. 11, p. 1262-1277, 2007.
- 39 SHARMA, S.; SINGH, S.; CHAUDHARY, V.; MANTRI, S.; CHANDER, A.; MAURYA, R.; RAJARAMMOHAN, S.; SINGH, R. P.; RISHI, P.; BISHNOI, M., & BHADADA, S. K. (2022). Isomaltooligosaccharides utilization and genomic characterization of human infant anti-inflammatory *Bifidobacterium longum* and *Bifidobacterium breve* strains. *3 Biotech*, 12(4), 1–15.
- 40 SONG, Y. B.; LAMOTHE, L. M.; RODRIGUEZ, N. E. N.; ROSE, D. R.; & LEE, B. H. (2022). New insights suggest isomaltooligosaccharides are slowly digestible carbohydrates, rather than dietary fibers, at constitutive mammalian α -glucosidase levels. *Food Chemistry*, 383, Article 132456.
- 41 SORNDECH, W.; NAKORN, K. N.; TONGTA, S.; & BLENNOW, A. (2018). Isomaltooligosaccharides: Recent insights in production technology and their use for food and medical applications. *LWT - Food Science and Technology*, 95, 135–142.
- 42 SPADOTI, L.M.; ZACARCHENCO, P.B.; SILVA E ALVES, A.T. (organizadores). LÁCTEOS E SAÚDE: SINOPSE DOS TEXTOS E PALESTRAS. 1. ed., Campinas: ITAL, 2016. Disponível em <https://www.ital.agricultura.sp.gov.br/arquivos/tl/publicacoes/SimposioLacteosSaude/2/#zoom=z>
- 43 STEFFE, J. F. Rheological methods in food process engineering 2nd.ed., East Lansing, Michigan: Freeman Press, 1996. 418p.
- 44 STEPHANI, R.; NEVES, H.C.; PERRONE, I.T.; CARVALHO, A.F.; OLIVEIRA, L.F.C. Proteínas lácteas: Ingredientes sinérgicos em sistemas proteicos. Capítulo 3. Páginas 24 – 46. In:
- 45 VAIDYA, R. H.; & SHETH, M. K. (2010). Processing and storage of Indian cereal and cereal products alters its resistant starch content. *Journal of Food Science and Technology*, 48, 622–627. 10.1007/s13197-010-0151-9.
- 46 YAMAMOTO, N. Fermented milks: health effects of fermented milks. Reference Module in Food Sciences, 2016.

8 ANEXOS

8.1 PLANEJAMENTO DA FORMULAÇÃO COM XOS

8.1.1 Gráficos estatísticos - Análise de pH

A seguir estão apresentadas todas as análises realizadas no software Protimiza, os diagramas de Pareto, gráficos dos valores experimentais versus previstos e tabelas ANOVA para os resultados experimentais dos valores de pH do planejamento da bebida láctea utilizando o **Xilo oligossacarídeos (XOS)**. As superfícies de resposta não foram geradas e apresentadas aqui pois, conforme resume a **tabela 5**, de resultados, os modelos não foram preditivos.

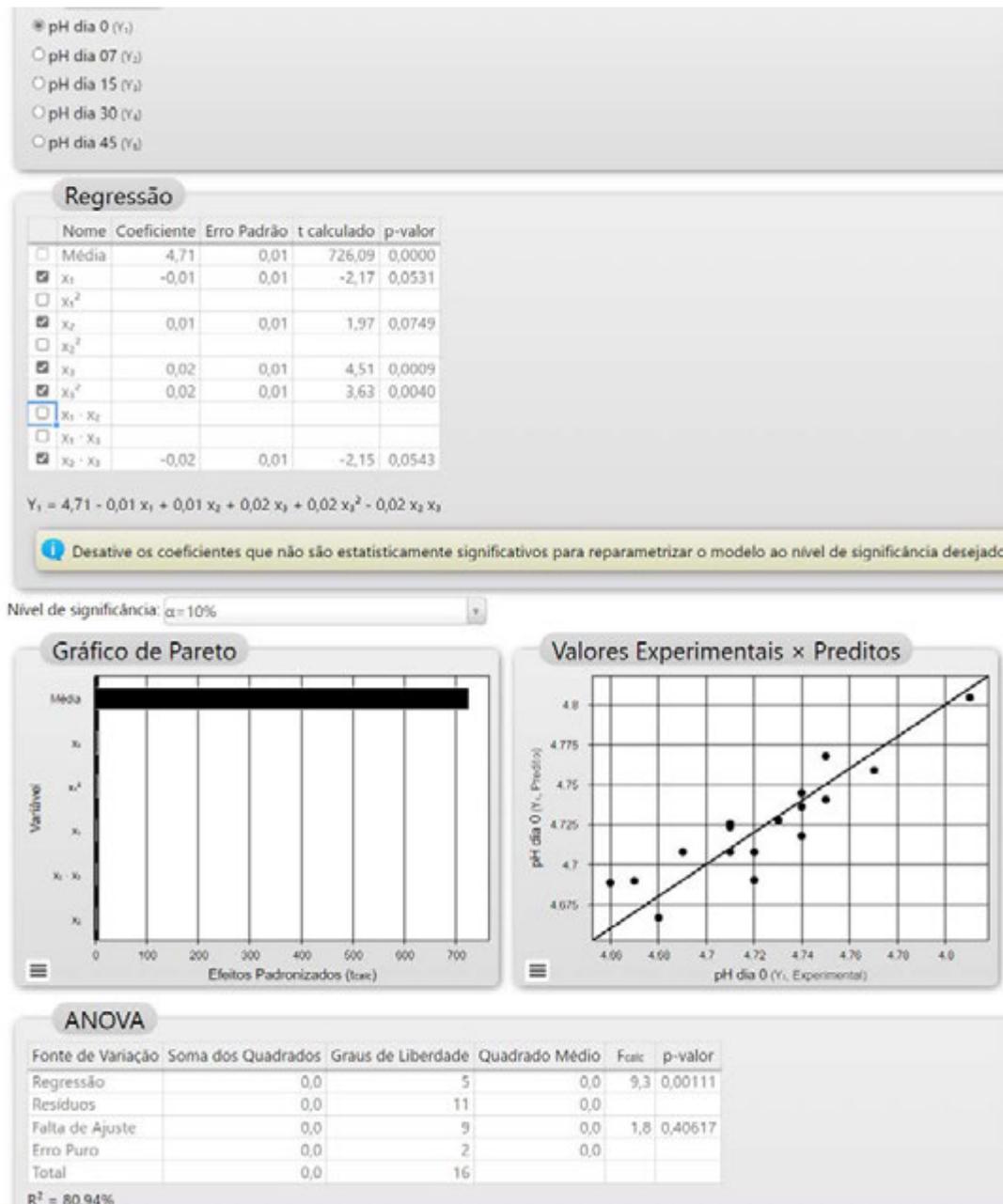


Figura 38. Análise estatística do pH em 0 dia das bebidas lácteas formuladas com XOS (Fonte: Protimiza, 2022).

Resposta

- pH dia 0 (Y_1)
- pH dia 07 (Y_2)
- pH dia 15 (Y_3)
- pH dia 30 (Y_4)
- pH dia 45 (Y_5)

Regressão

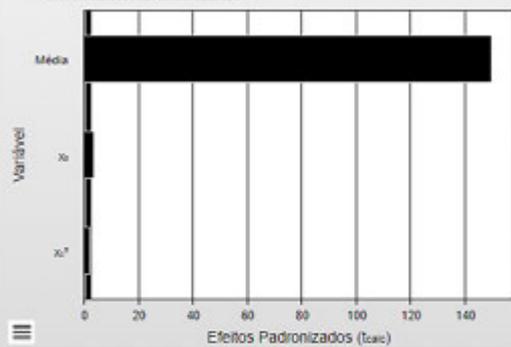
Nome	Coefficiente	Erro Padrão	t calculado	p-valor
<input type="checkbox"/> Média	4,57	0,03	149,95	0,0000
<input type="checkbox"/> X_1				
<input checked="" type="checkbox"/> X_1^2	-0,05	0,03	-2,01	0,0638
<input type="checkbox"/> X_2				
<input type="checkbox"/> X_2^2				
<input checked="" type="checkbox"/> X_3	0,09	0,03	3,76	0,0021
<input type="checkbox"/> X_3^2				
<input type="checkbox"/> $X_1 \cdot X_2$				
<input type="checkbox"/> $X_1 \cdot X_3$				
<input type="checkbox"/> $X_2 \cdot X_3$				

$$Y_2 = 4,57 - 0,05 X_1^2 + 0,09 X_3$$

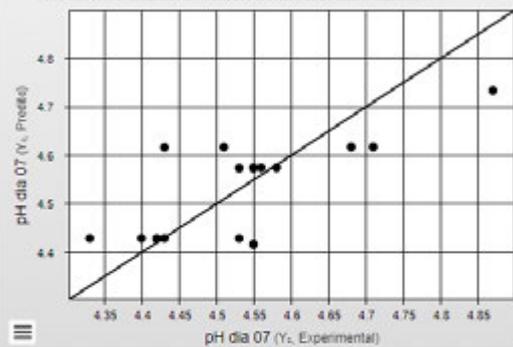
i Desative os coeficientes que não são estatisticamente significativos para reparametrizar o modelo ao nível de significância desejado

Nível de significância:

Gráfico de Pareto



Valores Experimentais × Preditos



ANOVA

Fonte de Variação	Soma dos Quadrados	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	F _{calc}	p-valor
Regressão	0,2	2	0,1	9,1	0,00294
Resíduos	0,1	14	0,0		
Falta de Ajuste	0,1	12	0,0	42,8	0,02307
Erro Puro	0,0	2	0,0		
Total	0,3	16			

$R^2 = 56,53\%$

Figura 39. Análise estatística do pH em 7 dias das bebidas lácteas formuladas com XOS (Fonte: Protimiza, 2022).

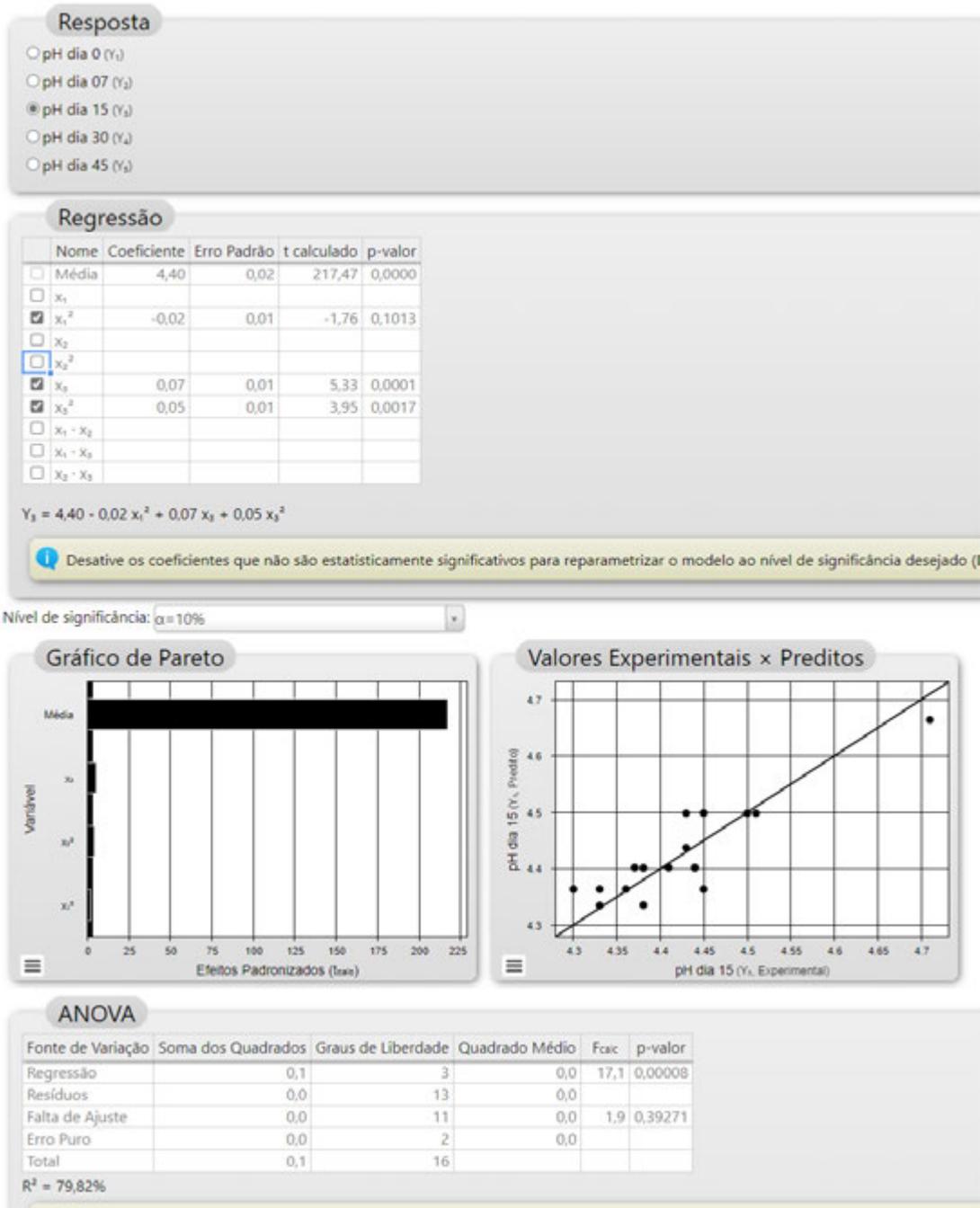


Figura 40. Análise estatística do pH em 15 dias das bebidas lácteas formuladas com XOS (Fonte: Protimiza, 2022).

Resposta

- pH dia 0 (Y_1)
- pH dia 07 (Y_2)
- pH dia 15 (Y_3)
- pH dia 30 (Y_4)
- pH dia 45 (Y_5)

Regressão

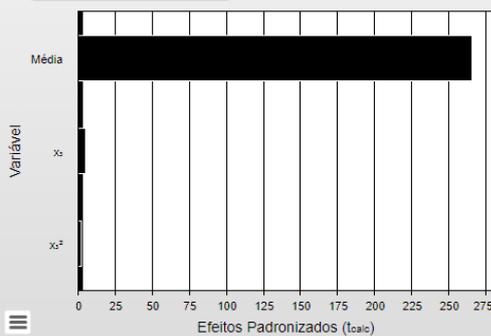
	Nome	Coefficiente	Erro Padrão	t calculado	p-valor
<input type="checkbox"/>	Média	4,38	0,02	265,95	0,0000
<input type="checkbox"/>	X_1				
<input type="checkbox"/>	X_1^2				
<input type="checkbox"/>	X_2				
<input type="checkbox"/>	X_2^2				
<input checked="" type="checkbox"/>	X_3	0,07	0,01	5,23	0,0001
<input checked="" type="checkbox"/>	X_3^2	0,03	0,01	2,40	0,0307
<input type="checkbox"/>	$X_1 \cdot X_2$				
<input type="checkbox"/>	$X_1 \cdot X_3$				
<input type="checkbox"/>	$X_2 \cdot X_3$				

$$Y_4 = 4,38 + 0,07 x_3 + 0,03 x_3^2$$

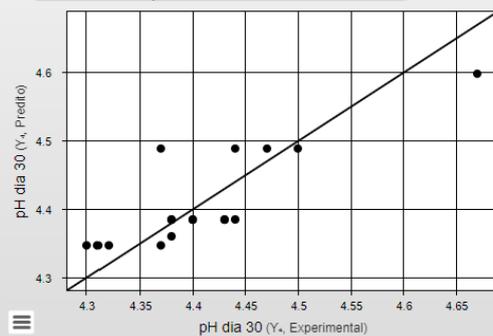
i Desative os coeficientes que não são estatisticamente significativos para reparametrizar o modelo ao nível de significância desejado (De

Nível de significância: $\alpha=10\%$

Gráfico de Pareto



Valores Experimentais × Preditos



ANOVA

Fonte de Variação	Soma dos Quadrados	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	F_{calc}	p-valor
Regressão	0,1	2	0,0	16,6	0,00020
Resíduos	0,0	14	0,0		
Falta de Ajuste	0,0	12	0,0	6,6	0,13924
Erro Puro	0,0	2	0,0		
Total	0,1	16			

$$R^2 = 70,29\%$$

Figura 41. Análise estatística do pH em 30 dias das bebidas lácteas formuladas com XOS (Fonte: Protimiza, 2022).

Resposta

- pH dia 0 (Y_0)
- pH dia 07 (Y_1)
- pH dia 15 (Y_2)
- pH dia 30 (Y_3)
- pH dia 45 (Y_4)

Regressão

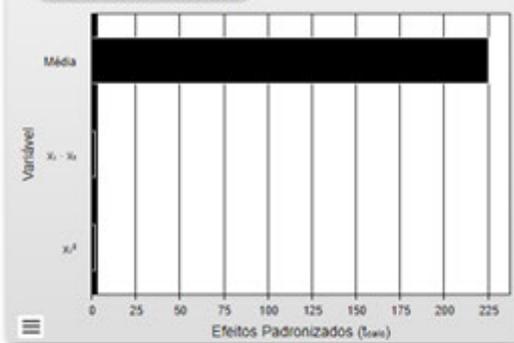
Nome	Coefficiente	Erro Padrão	t calculado	p-valor
<input type="checkbox"/> Média	4,40	0,02	225,52	0,0000
<input type="checkbox"/> x_1				
<input checked="" type="checkbox"/> x_1^2	-0,03	0,02	-1,95	0,0720
<input type="checkbox"/> x_2				
<input type="checkbox"/> x_2^2				
<input type="checkbox"/> x_3				
<input type="checkbox"/> x_3^2				
<input type="checkbox"/> $x_1 \cdot x_2$				
<input checked="" type="checkbox"/> $x_1 \cdot x_3$	-0,04	0,02	-2,09	0,0554
<input type="checkbox"/> $x_2 \cdot x_3$				

$$Y_5 = 4,40 - 0,03 x_1^2 - 0,04 x_1 x_3$$

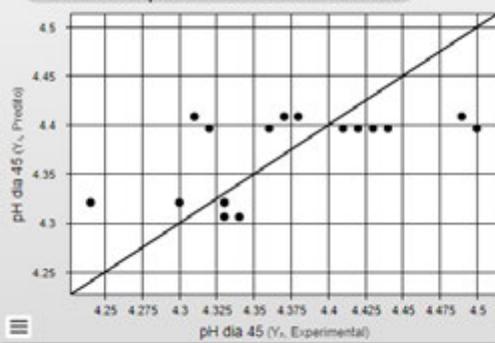
Desative os coeficientes que não são estatisticamente significativos para reparametrizar o modelo ao nível de significância desejado (

Nível de significância: $\alpha = 10\%$

Gráfico de Pareto



Valores Experimentais × Preditos



ANOVA

Fonte de Variação	Soma dos Quadrados	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	F _{calc}	p-valor
Regressão	0,0	2	0,0	4,1	0,04024
Resíduos	0,0	14	0,0		
Falta de Ajuste	0,0	12	0,0	17,4	0,05569
Erro Puro	0,0	2	0,0		
Total	0,1	16			

$R^2 = 36,81\%$

Figura 42. Análise estatística do pH em 45 dias das bebidas lácteas formuladas com XOS (Fonte: Protimiza, 2022).

8.1.2 Gráficos estatísticos e Fotos - Análise de Sinérese

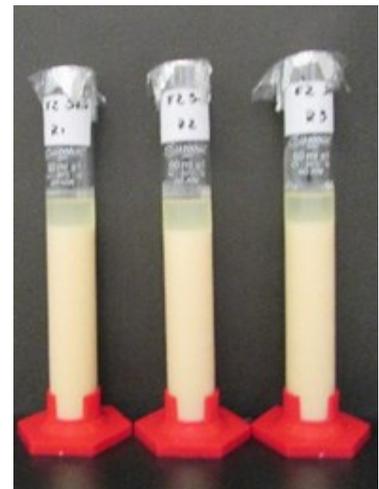
A seguir estão apresentados os registros (fotos) realizados para leitura das avaliações da sinérese das formulações com **Xilo oligossacarídeos (XOS)** aos 7 dias após o armazenamento em câmara fria com temperatura de 4°C. Os diagramas de Pareto, gráficos dos valores experimentais versus previstos, tabelas ANOVA e as superfícies geradas pelo software Protimiza Experimental Design destes registros estão apresentados e discutidos na dissertação no item 5.1.2.



(a) Amostra s/ probiótico no dia 07.



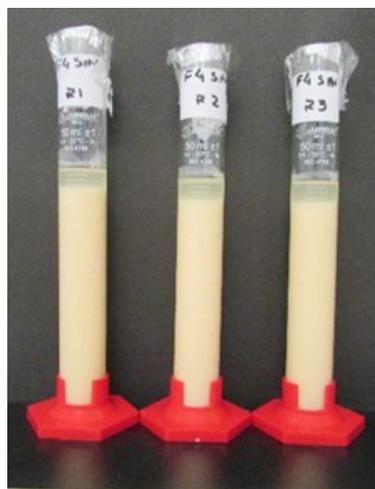
(b) F1 XOS no dia 07.



(c) F2 XOS no dia 07.



(d) F3 XOS no dia 07.



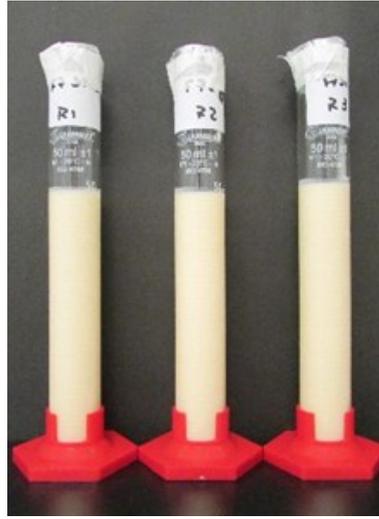
(e) F4 XOS no dia 07.



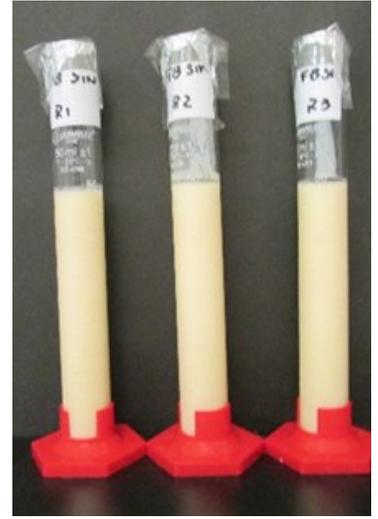
(f) F5 XOS no dia 07.



(g) F6 XOS no dia 07.



(h) F7 XOS no dia 07.



(i) F8 XOS no dia 07.



(j) F9 XOS no dia 07.



(k) F10 XOS no dia 07.



(l) F11 XOS no dia 07.



(m) F12 XOS no dia 07.



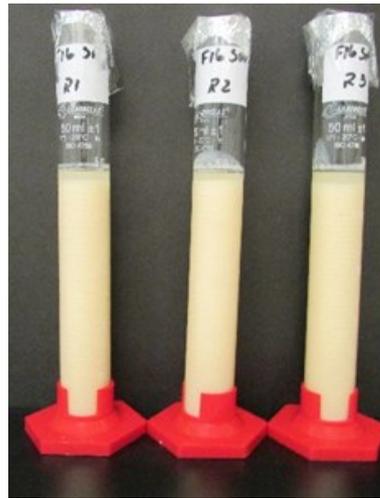
(n) F13 XOS no dia 07.



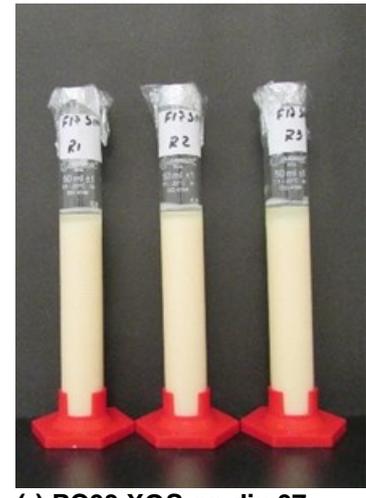
(o) F14 XOS no dia 07.



(p) PC01 XOS no dia 07.



(q) PC02 XOS no dia 07



(r) PC03 XOS no dia 07

Figura 43. Imagens das provetas para registro da sinérese aos 7 dias de vida de prateleira das formulações com XOS.

A **tabela 21** estão os valores lidos de sinérese de cada proveta referente às repetições das formulações das bebidas lácteas com fibra prebiótica XOS realizadas no dia **07 após o preparo**, com os valores médios em mililitros (ml) e em porcentagem, levando em consideração o volume total de cada proveta e a separação de soro visível na data da coleta. Na **figura 44** está o gráfico dos valores de cada replica e do valor médio de todas as formulações com fibra prebiótica XOS após 07 dias de armazenamento a 4°C.

Tabela 21. Valores de Sinérese para fibra prebiótica XOS com 07 dias de armazenamento a 4°C.

Formulações	Dia 07						Valor médio em ml Y1
	Fibra Prebiótica XOS						
	X1	X2	X3	R1	R2	R3	
F0 (s/ prébiótico)	ñ	0	0	0	0	1	0,33
F1	-1	-1	-1	6	6	7	6,33
F2	1	-1	-1	5	5	5	5,00
F3	-1	1	-1	4	4	4	4,00
F4	1	1	-1	3	3	4	3,33
F5	-1	-1	1	1	1	1	1,00
F6	1	-1	1	0	1	0	0,33
F7	-1	1	1	1	1	0	0,67
F8	1	1	1	0	0	0	0,00
F9	-1,68	0	0	2	3	3	2,67
F10	1,68	0	0	1	2	2	1,67
F11	0	-1,68	0	3	5	5	4,33
F12	0	1,68	0	1	2	1	1,33
F13	0	0	-1,68	11	11	12	11,33
F14	0	0	1,68	0	0	0	0,00
PC01	0	0	0	2	2	2	2,00
PC02	0	0	0	2	2	2	2,00
PC03	0	0	0	2	2	3	2,33

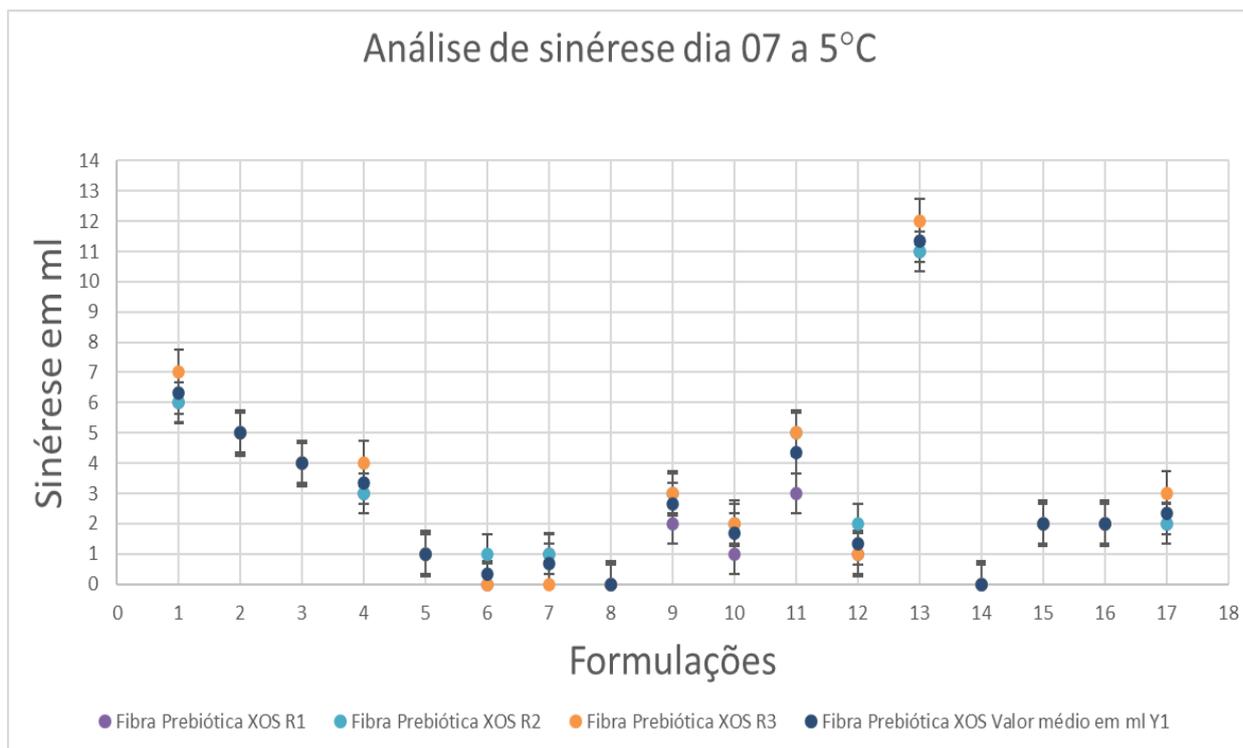


Figura 44. Gráfico com os valores de sinérese das formulações de bebida láctea com fibra prebiótica XOS analisadas após 07 dias de armazenamento a 4°C.

Na **Figura 45** está apresentado detalhes do tratamento estatístico no Software Protimiza para a resposta sinérese das formulações de bebida láctea com fibra prebiótica XOS analisadas após 07 dias de armazenamento a 4°C. O resumo desses resultados está na **tabela 6** da dissertação no item **5.1.2**.

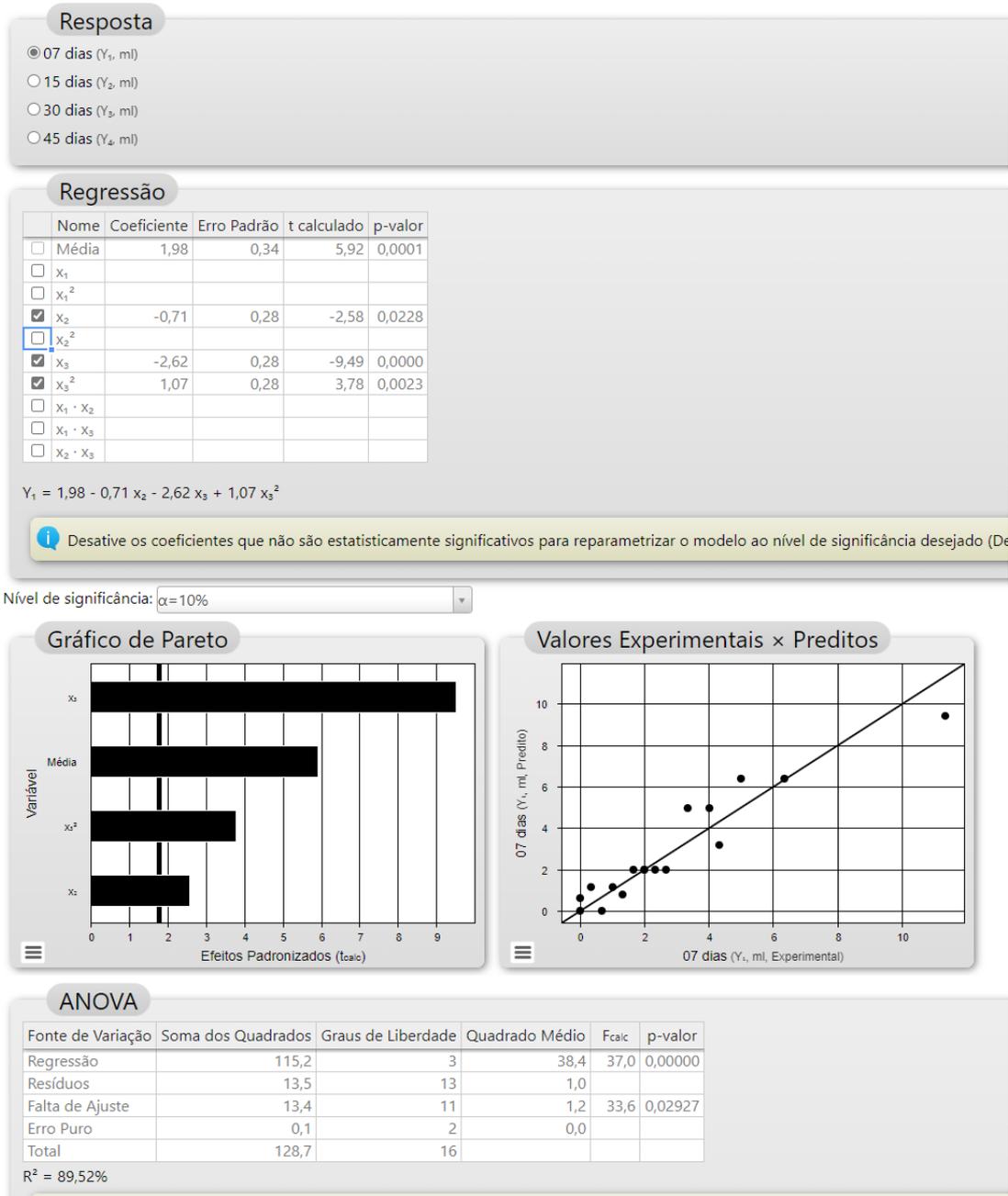


Figura 45. Análise estatística da resposta se sinérese com 7 dias das formulações com a fibra prebiótica XOS (Fonte: Protimiza, 2022).

A seguir estão apresentados para as formulações com fibra prebiótica **Xilo oligossacarídeos (XOS)** após **15, 30 e 45 dias de preparo**: os registros (fotos) realizados para leitura da sinérese; as tabelas com os valores lidos de cada proveta e respectivas médias e os gráficos desses valores e o tratamento estatístico no Software Protimiza, juntamente com as superfícies de resposta, caso tenham sido geradas.



(a) Amostra sem probiótico no dia 15.



(b) F1 XOS no dia 15.



(c) F2 XOS no dia 15.



(d) F3 XOS no dia 15.



(e) F4 XOS no dia 15.



(f) F5 XOS no dia 15.



(g) F6 XOS no dia 15.



(h) F7 XOS no dia 15.



(i) F8 XOS no dia 15.

(j) F9 XOS no dia 15.



(k) F10 XOS no dia 15.

(l) F11 XOS no dia 15.



(m) F12 XOS no dia 15.

(n) F13 XOS no dia 15.

(o) F14 XOS no dia 15.



(p) PC01 XOS no dia 15.

(q) PC02 XOS no dia 15

(r) PC03 XOS no dia 15

Figura 46. Imagens das provetas para registro da sinérese aos 15 dias de vida de prateleira das formulações com XOS.

Tabela 22. Valores de Sinérese para fibra prebiótica XOS após 15 dias de armazenamento a 4°C.

Dia 15							Valor médio em ml Y2
Fibra Prebiótica XOS							
Formulações	X1	X2	X3	R1	R2	R3	
F0 (s/ prébiótico)	ñ	0	0	1	1	0	0,67
F1	-1	-1	-1	8	8	8	8,00
F2	1	-1	-1	8	8	8	8,00
F3	-1	1	-1	7	7	7	7,00
F4	1	1	-1	6	6	6	6,00
F5	-1	-1	1	2	2	2	2,00
F6	1	-1	1	1	1	1	1,00
F7	-1	1	1	0	0	0	0,00
F8	1	1	1	0	0	0	0,00
F9	-1,68	0	0	3	4	4	3,67
F10	1,68	0	0	2	3	2	2,33
F11	0	-1,68	0	4	6	6	5,33
F12	0	1,68	0	2	3	2	2,33
F13	0	0	-1,68	14	13	14	13,67
F14	0	0	1,68	0	2	2	1,33
PC01	0	0	0	3	3	3	3,00
PC02	0	0	0	3	2	3	2,67
PC03	0	0	0	3	3	4	3,33

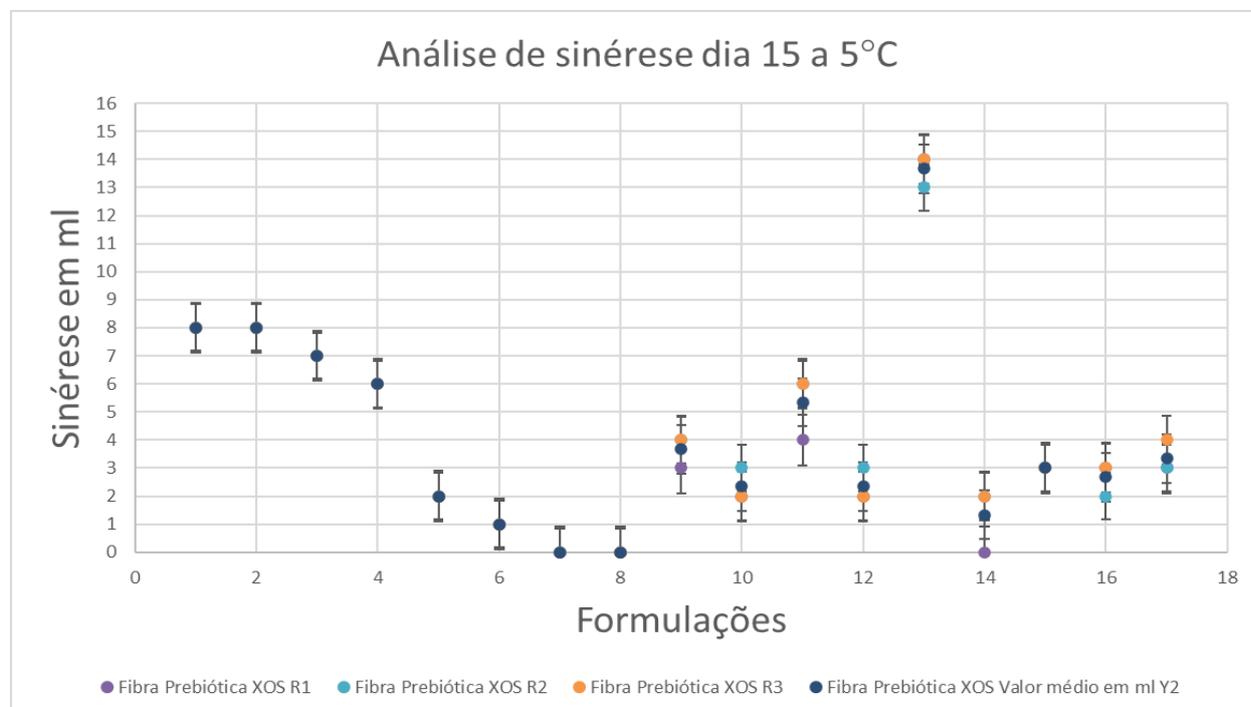


Figura 47. Gráfico com os valores de sinérese das formulações de bebida láctea com fibra prebiótica XOS analisadas após 15 dias de armazenamento a 4°C.

Resposta

- 07 dias (Y_1 , ml)
- 15 dias (Y_2 , ml)
- 30 dias (Y_3 , ml)
- 45 dias (Y_4 , ml)

Regressão

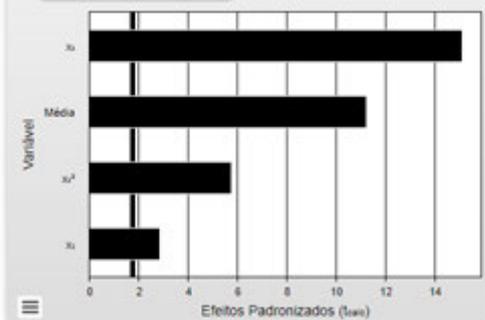
Nome	Coefficiente	Erro Padrão	t calculado	p-valor
<input type="checkbox"/> Média	3,10	0,28	11,25	0,0000
<input type="checkbox"/> X_1				
<input type="checkbox"/> X_1^2				
<input checked="" type="checkbox"/> X_2	-0,64	0,23	-2,85	0,0138
<input type="checkbox"/> X_2^2				
<input checked="" type="checkbox"/> X_3	-3,42	0,23	-15,10	0,0000
<input checked="" type="checkbox"/> X_3^2	1,33	0,23	5,75	0,0001
<input type="checkbox"/> $X_1 \cdot X_2$				
<input type="checkbox"/> $X_1 \cdot X_3$				
<input type="checkbox"/> $X_2 \cdot X_3$				

$$Y_2 = 3,10 - 0,64 X_2 - 3,42 X_3 + 1,33 X_3^2$$

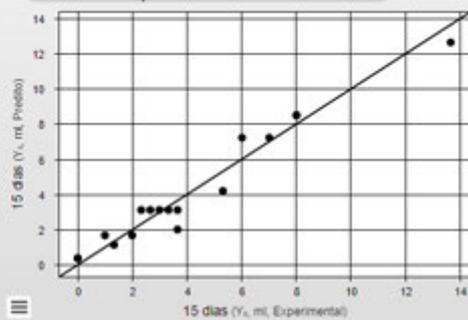
Desative os coeficientes que não são estatisticamente significativos para reparametrizar o modelo ao nível de significância desejado (L)

Nível de significância: $\alpha = 10\%$

Gráfico de Pareto



Valores Experimentais x Preditos

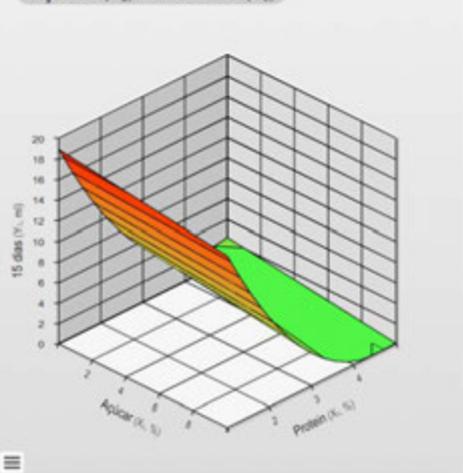


ANOVA

Fonte de Variação	Soma dos Quadrados	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	F _{calc}	p-valor
Regressão	188,8	3	62,9	89,7	0,00000
Resíduos	9,1	13	0,7		
Falta de Ajuste	8,9	11	0,8	7,2	0,12807
Erro Puro	0,2	2	0,1		
Total	198,0	16			

$R^2 = 95,39\%$

Açúcar (X_2) x Protein (X_3)



Açúcar (X_2) x Protein (X_3)

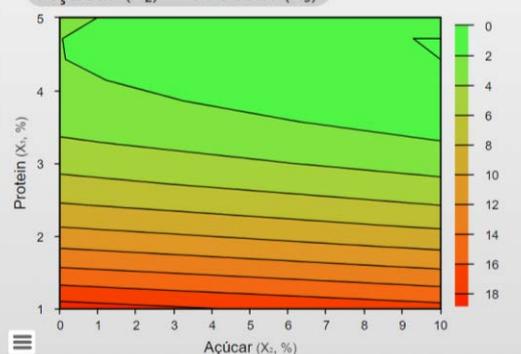


Figura 48. Análise estatística da resposta se sinérese com 15 dias das formulações com a fibra prebiótica XOS (Fonte: Protimiza, 2022).



(a) Amostra sem probiótico no dia 30.



(b) F1 XOS no dia 30.



(c) F2 XOS no dia 30.



(d) F3 XOS no dia 30.



(e) F4 XOS no dia 30.



(f) F5 XOS no dia 30.



(g) F6 XOS no dia 30.



(h) F7 XOS no dia 30.



(i) F8 XOS no dia 30.



(j) F9 XOS no dia 30.



(k) F10 XOS no dia 30.



(l) F11 XOS no dia 30.



(m) F12 XOS no dia 30.



(n) F13 XOS no dia 30.



(o) F14 XOS no dia 30.



(p) PC01 XOS no dia 30.



(q) PC02 XOS no dia 30



(r) PC03 XOS no dia 30

Figura 49. Imagens das provetas para registro da sinérese aos 30 dias de vida de prateleira das formulações com XOS.

Tabela 23. Valores de Sinérese para fibra prebiótica XOS com 30 dias de armazenamento a 4°C.

Dia 30							Valor médio em ml Y3
Fibra Prebiótica XOS							
Formulações	X1	X2	X3	R1	R2	R3	
F0 (s/ prébiótico)	ñ	0	0	2	1	1	1,33
F1	-1	-1	-1	9	9	10	9,33
F2	1	-1	-1	9	9	9	9,00
F3	-1	1	-1	8	8	8	8,00
F4	1	1	-1	7	7	7	7,00
F5	-1	-1	1	3	3	3	3,00
F6	1	-1	1	1	1	2	1,33
F7	-1	1	1	1	1	1	1,00
F8	1	1	1	1	1	1	1,00
F9	-1,68	0	0	4	5	5	4,67
F10	1,68	0	0	3	3	3	3,00
F11	0	-1,68	0	6	7	7	6,67
F12	0	1,68	0	2	3	3	2,67
F13	0	0	-1,68	16	15	16	15,67
F14	0	0	1,68	2	4	4	3,33
PC01	0	0	0	5	5	5	5,00
PC02	0	0	0	4	4	5	4,33
PC03	0	0	0	4	5	5	4,67

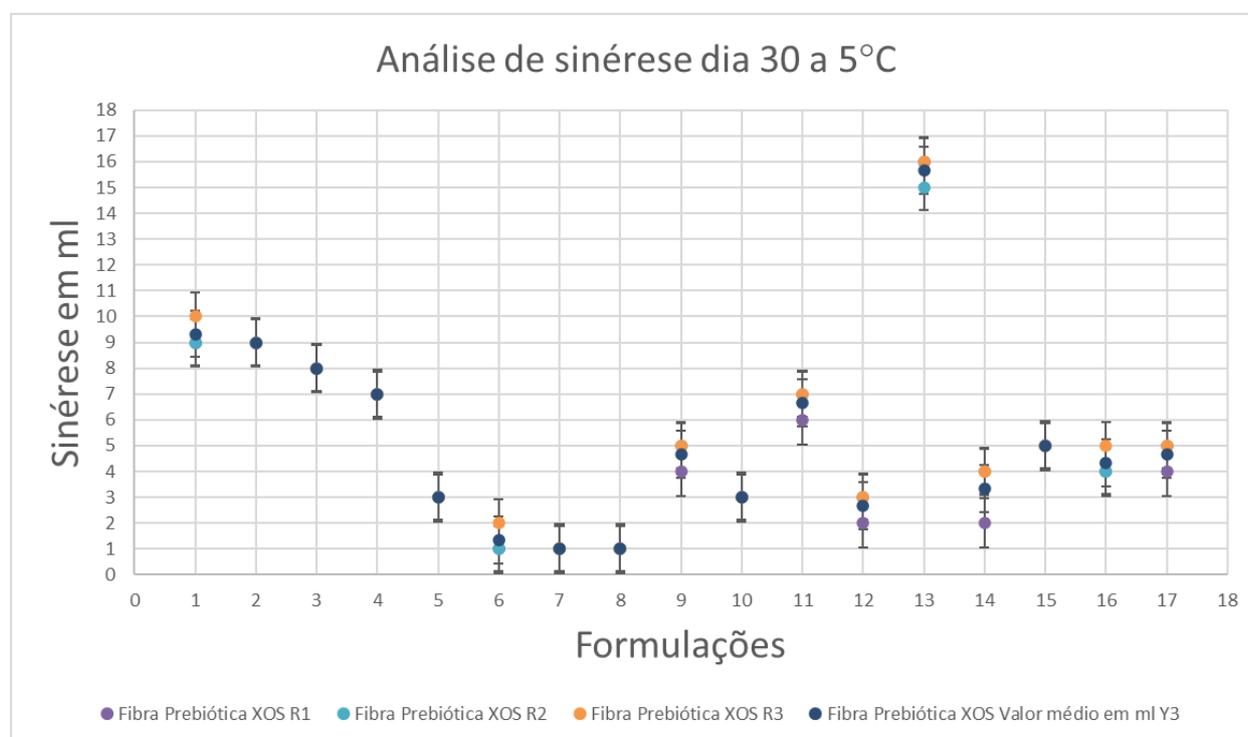


Figura 50. Gráfico com os valores de sinérese das formulações de bebida láctea com fibra prebiótica XOS analisadas após 30 dias de armazenamento a 4°C.

Resposta

- 07 dias (Y_1 , ml)
- 15 dias (Y_2 , ml)
- 30 dias (Y_3 , ml)
- 45 dias (Y_4 , ml)

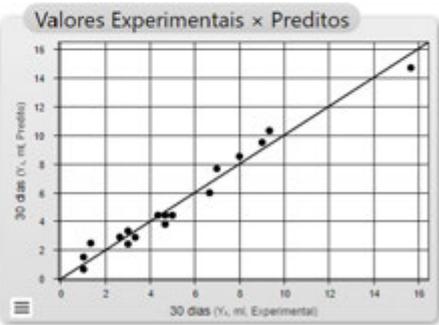
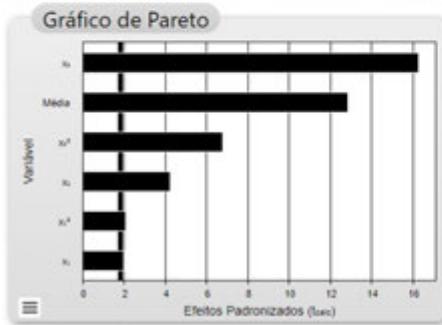
Regressão

Nome	Coefficiente	Erro Padrão	t calculado	p-valor
Média	4,42	0,34	12,84	0,0000
<input checked="" type="checkbox"/> x_1	-0,42	0,22	-1,97	0,0744
<input checked="" type="checkbox"/> x_1^2	-0,47	0,23	-2,07	0,0624
<input checked="" type="checkbox"/> x_2	-0,91	0,22	-4,22	0,0014
<input type="checkbox"/> x_2^2				
<input checked="" type="checkbox"/> x_3	-3,50	0,22	-16,24	0,0000
<input checked="" type="checkbox"/> x_3^2	1,53	0,23	6,78	0,0000
<input type="checkbox"/> $x_1 \cdot x_2$				
<input type="checkbox"/> $x_1 \cdot x_3$				
<input type="checkbox"/> $x_2 \cdot x_3$				

$Y_3 = 4,42 - 0,42 x_1 - 0,47 x_1^2 - 0,91 x_2 - 3,50 x_3 + 1,53 x_3^2$

Desative os coeficientes que não são estatisticamente significativos para reparametrizar o modelo ao nível de significância desejado

Nível de significância: $\alpha = 10\%$



ANOVA

Fonte de Variação	Soma dos Quadrados	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	F _{calc}	p-valor
Regressão	218,3	5	43,7	69,1	0,00000
Resíduos	7,0	11	0,6		
Falta de Ajuste	6,7	9	0,7	6,7	0,13722
Erro Puro	0,2	2	0,1		
Total	225,3	16			

$R^2 = 96,91\%$

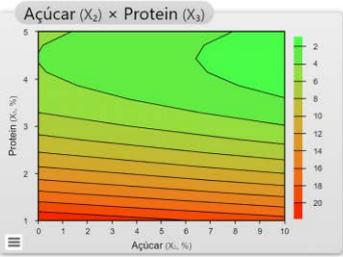
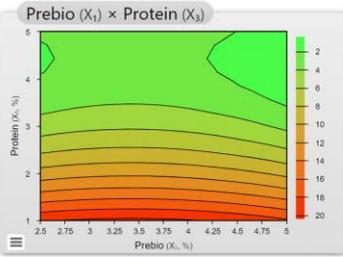
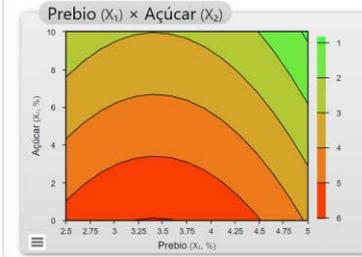
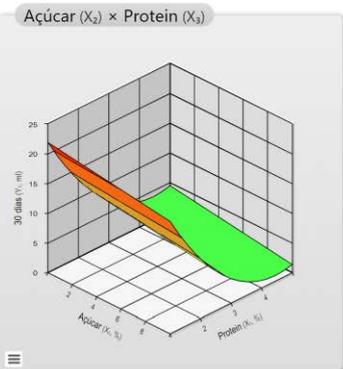
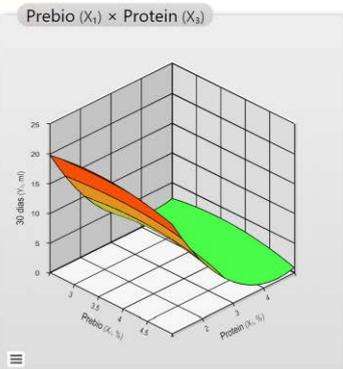
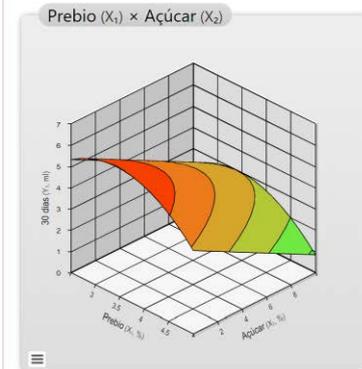
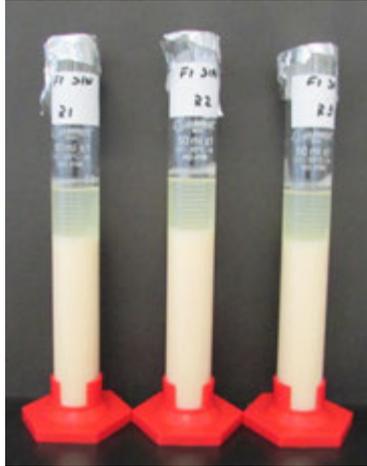


Figura 51. Análise estatística da resposta se sinérese com 30 dias das formulações com a fibra prebiótica XOS (Fonte: Protimiza, 2022).



(a) Amostra s/ probiótico no dia 45.



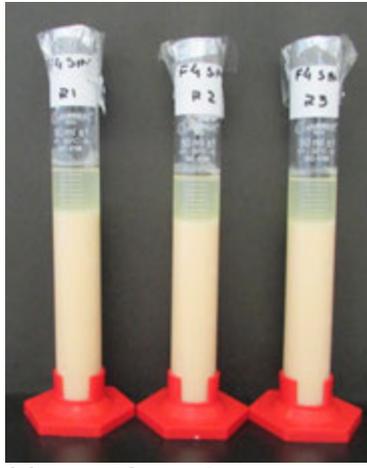
(b) F1 XOS no dia 45.



(c) F2 XOS no dia 45.



(d) F3 XOS no dia 45.



(e) F4 XOS no dia 45.



(f) F5 XOS no dia 45.



(g) F6 XOS no dia 45.



(h) F7 XOS no dia 45.



(i) F8 XOS no dia 45.



(j) F9 XOS no dia 45.

(k) F10 XOS no dia 45.

(l) F11 XOS no dia 45.



(m) F12 XOS no dia 45.



(n) F13 XOS no dia 45.



(o) F14 XOS no dia 45.



(p) PC01 XOS no dia 45.



(q) PC02 XOS no dia 45



(r) PC03 XOS no dia 45

Figura 52. Imagens das provetas para registro da sinérese aos 45 dias de vida de prateleira das formulações com XOS.

Tabela 24. Valores de Sinérese em para fibra prebiótica XOS com 45 dias de armazenamento a 4°C.

Dia 45							Valor médio em ml Y4
Fibra Prebiótica XOS							
Formulações	X1	X2	X3	R1	R2	R3	
F0 (s/ prébiótico)	ñ	0	0	2	2	2	2,00
F1	-1	-1	-1	10	10	11	10,33
F2	1	-1	-1	10	10	10	10,00
F3	-1	1	-1	9	9	9	9,00
F4	1	1	-1	9	9	9	9,00
F5	-1	-1	1	3	3	3	3,00
F6	1	-1	1	2	2	3	2,33
F7	-1	1	1	1	1	1	1,00
F8	1	1	1	1	1	1	1,00
F9	-1,68	0	0	5	6	6	5,67
F10	1,68	0	0	4	4	3	3,67
F11	0	-1,68	0	6	7	7	6,67
F12	0	1,68	0	3	3	3	3,00
F13	0	0	-1,68	17	16	17	16,67
F14	0	0	1,68	2	5	5	4,00
PC01	0	0	0	6	5	6	5,67
PC02	0	0	0	5	5	5	5,00
PC03	0	0	0	5	5	5	5,00

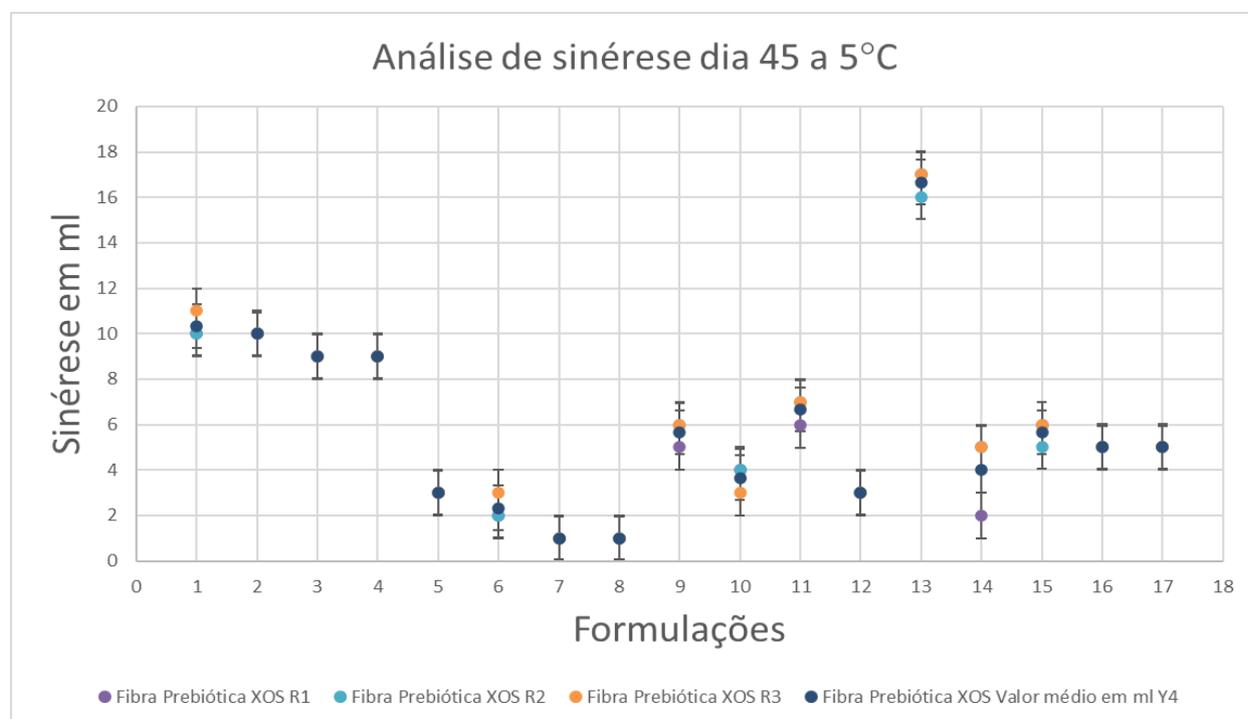


Figura 53. Gráfico com os valores de sinérese das formulações de bebida láctea com fibra prebiótica XOS analisadas após 45 dias de armazenamento a 4°C.

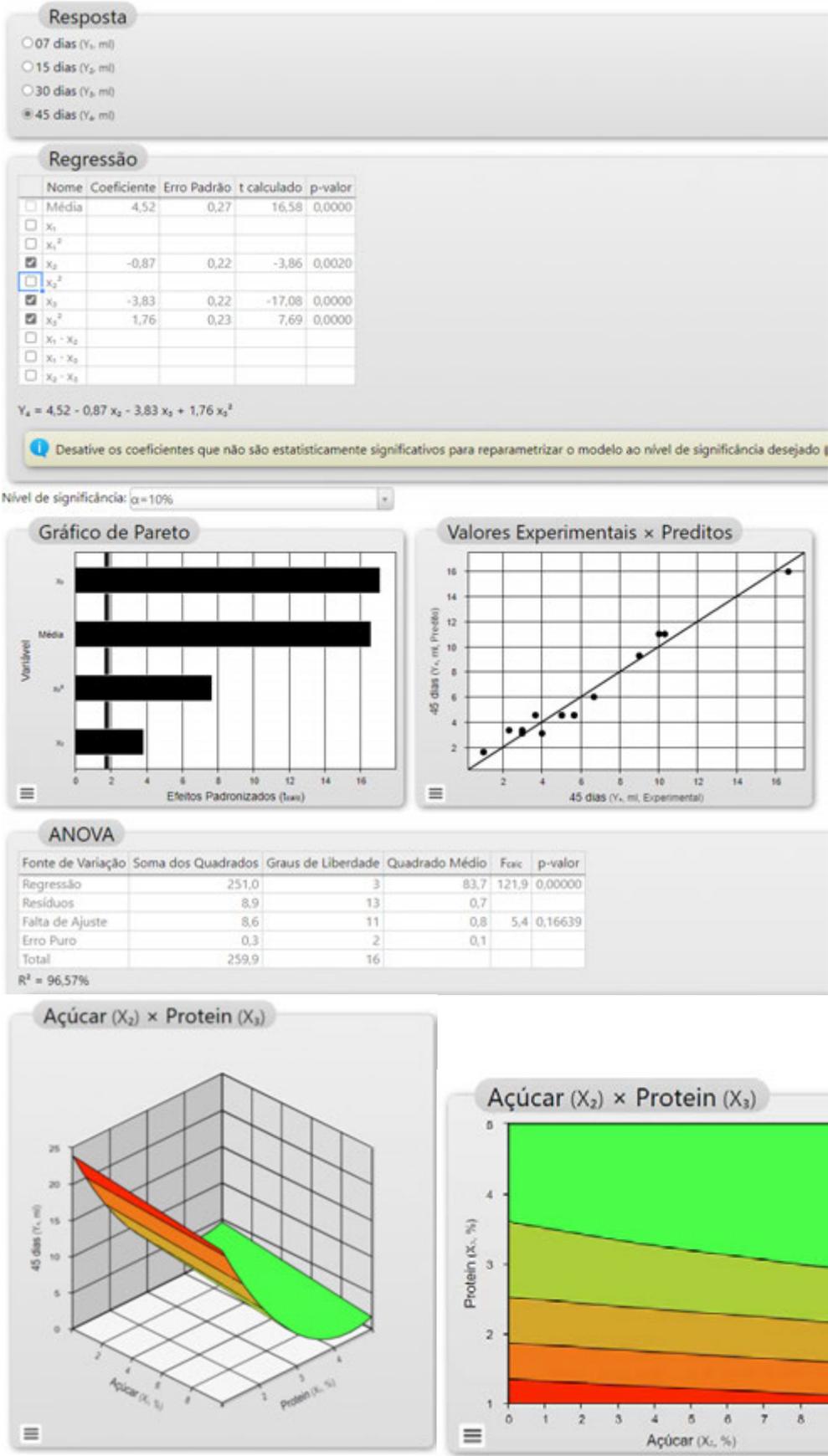


Figura 54. Análise estatística da resposta se sinérese com 45 dias das formulações com a fibra prebiótica XOS (Fonte: Protimiza, 2022).

8.1.3 Gráficos estatísticos - Análise de Viscosidade 50s⁻¹

A seguir estão apresentados os diagramas de Pareto, gráficos dos valores experimentais versus previstos e tabelas ANOVA para os resultados experimentais dos valores de viscosidade determinados na taxa de deformação de 50 s⁻¹ do planejamento da bebida láctea utilizando o **Xilo oligossacarídeos (XOS)**. Os resultados destes gráficos estão discutidos na dissertação no **item 5.1.3**. As superfícies de resposta foram geradas apenas para visualização da tendência da viscosidade, pois, conforme resume a **Tabela 9**, de resultados, os modelos não foram preditivos.

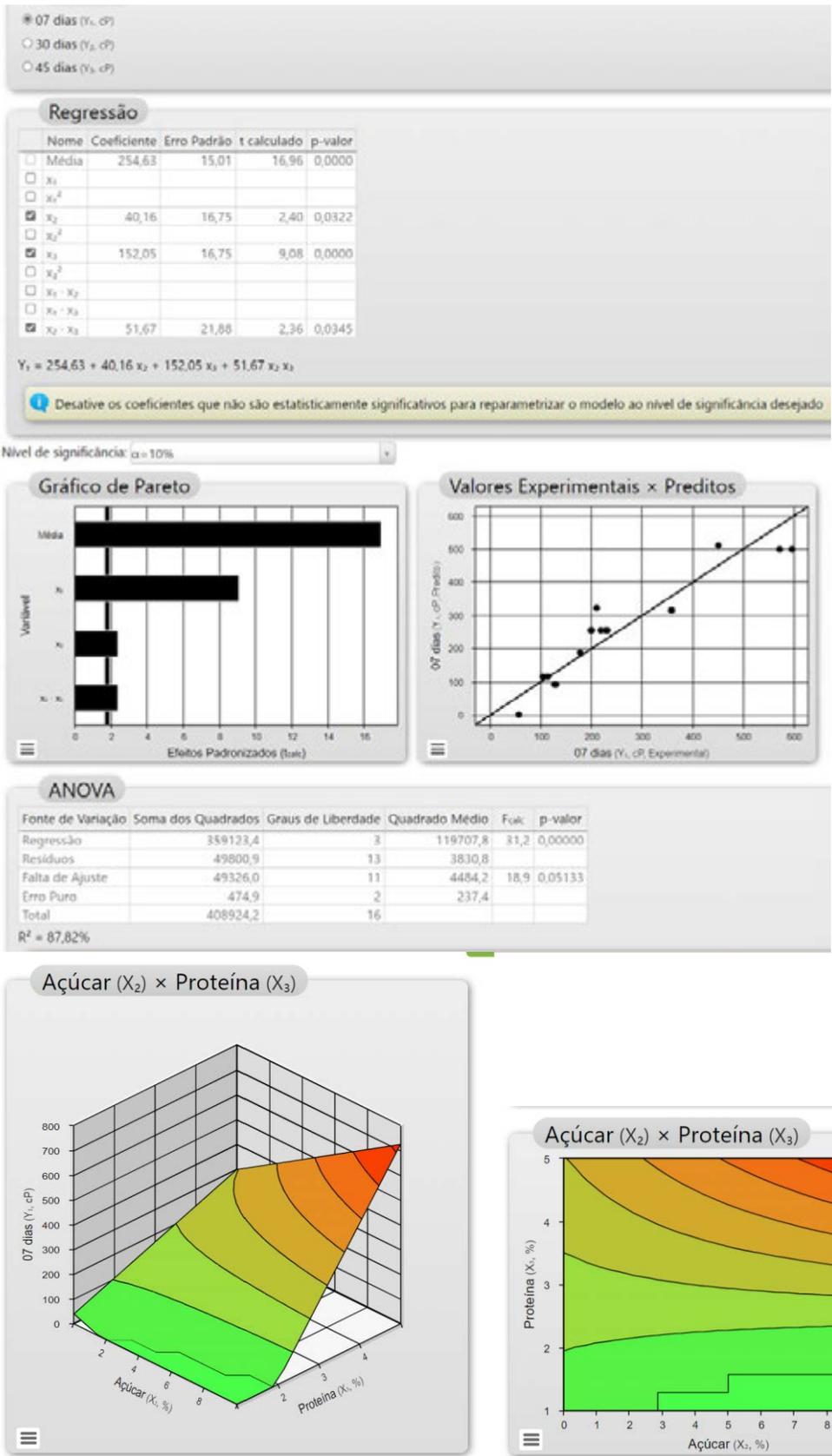


Figura 55. Análise estatística da resposta se Análise de Viscosidade 50s-1 com 7 dias das formulações com a fibra prebiótica XOS (Fonte: Protimiza, 2022).

Resposta

07 dias (Y_1 , cP)
 30 dias (Y_2 , cP)
 45 dias (Y_3 , cP)

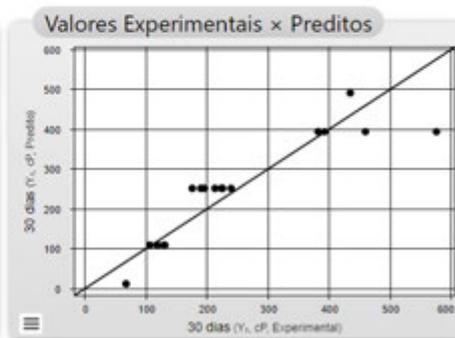
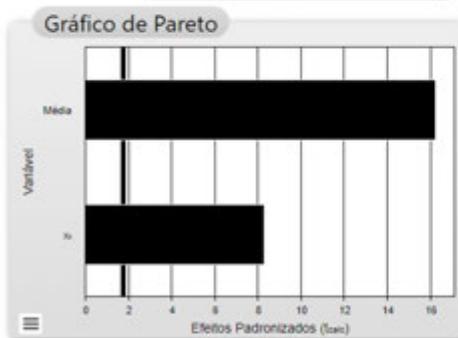
Regressão

Nome	Coefficiente	Erro Padrão	t calculado	p-valor
<input type="checkbox"/> Média	250,65	15,42	16,26	0,0000
<input type="checkbox"/> X_1				
<input type="checkbox"/> X_1^2				
<input checked="" type="checkbox"/> X_2	142,58	17,20	8,29	0,0000
<input type="checkbox"/> X_2^2				
<input type="checkbox"/> $X_1 \cdot X_2$				
<input type="checkbox"/> $X_1 \cdot X_3$				
<input type="checkbox"/> $X_2 \cdot X_3$				

$Y_2 = 250,65 + 142,58 X_2$

Desative os coeficientes que não são estatisticamente significativos para reparametrizar o modelo ao nível de significância desejado (De

Nível de significância: $\alpha = 10\%$



ANOVA

Fonte de Variação	Soma dos Quadrados	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	Fcalc	p-valor
Regressão	277642,5	1	277642,5	68,7	0,00000
Resíduos	60625,8	15	4041,7		
Falta de Ajuste	60091,6	13	4622,4	17,3	0,05591
Erro Puro	534,2	2	267,1		
Total	338268,4	16			

$R^2 = 82,08\%$

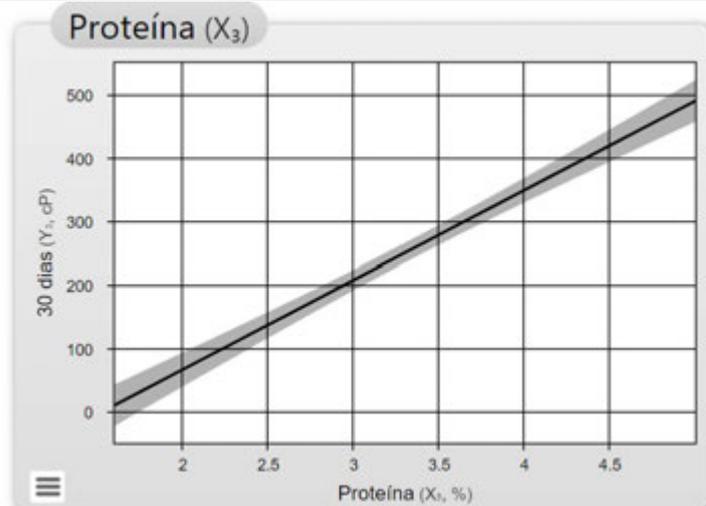


Figura 56. Análise estatística da resposta se Análise de Viscosidade 50s-1 com 30 dias das formulações com a fibra prebiótica XOS(Fonte: Protimiza, 2022).

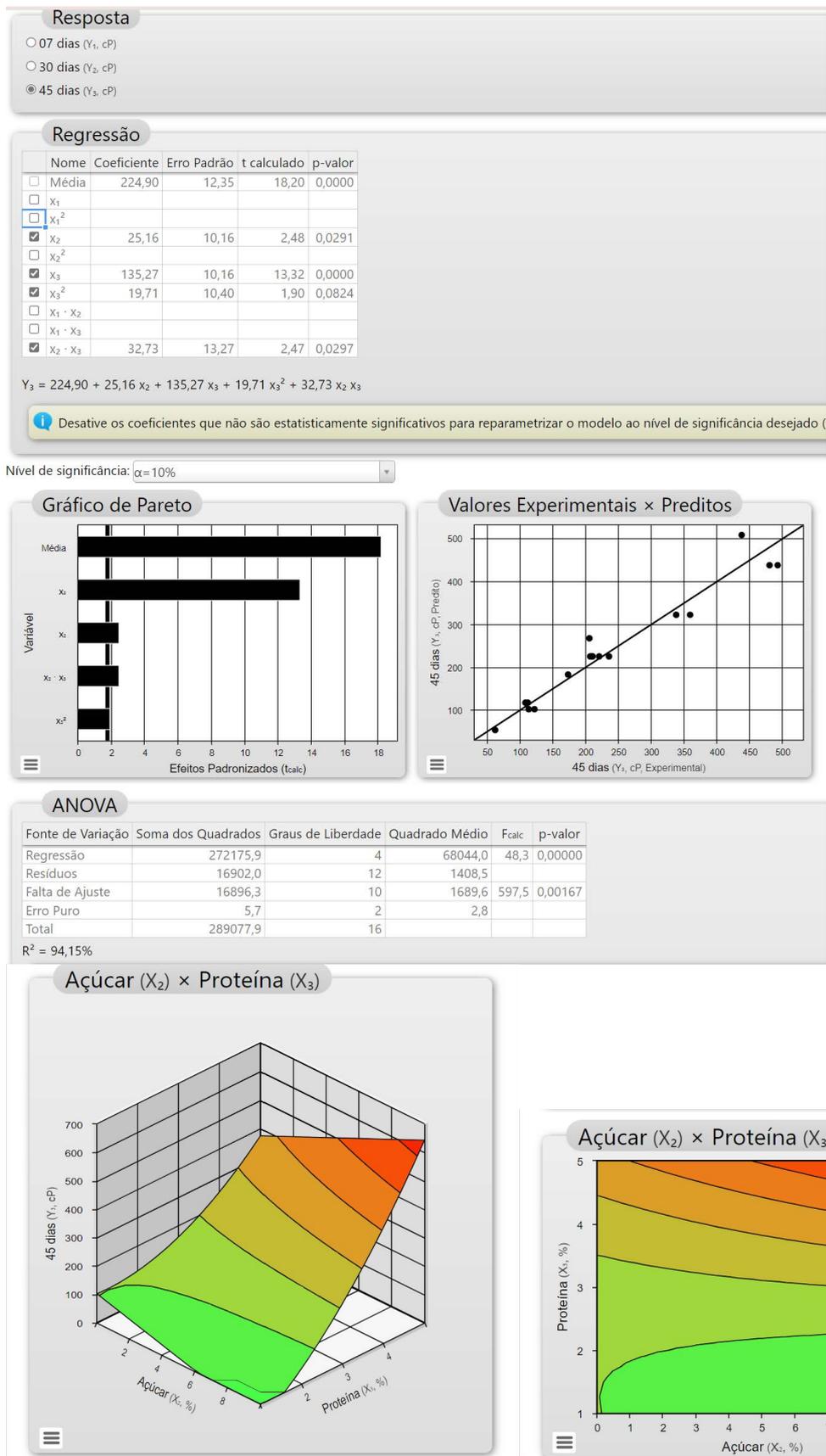


Figura 57. Análise estatística da resposta se Análise de Viscosidade 50s-1 com 45 dias das formulações com a fibra prebiótica XOS (Fonte: Protimiza, 2022).

8.1.4 Gráficos estatísticos - Análise de Viscosidade 100 s⁻¹

A seguir estão apresentados os diagramas de Pareto, gráficos dos valores experimentais versus previstos e tabelas ANOVA para os resultados experimentais dos valores de viscosidade determinados na taxa de deformação de 100 s⁻¹ do planejamento da bebida láctea utilizando o **Xilo oligossacarídeos (XOS)**. Os resultados destes gráficos estão discutidos na dissertação no item 5.1.3. As superfícies de resposta não foram geradas e apresentadas aqui pois, conforme resume a **Tabela 11**, de resultados, os modelos não foram preditivos.

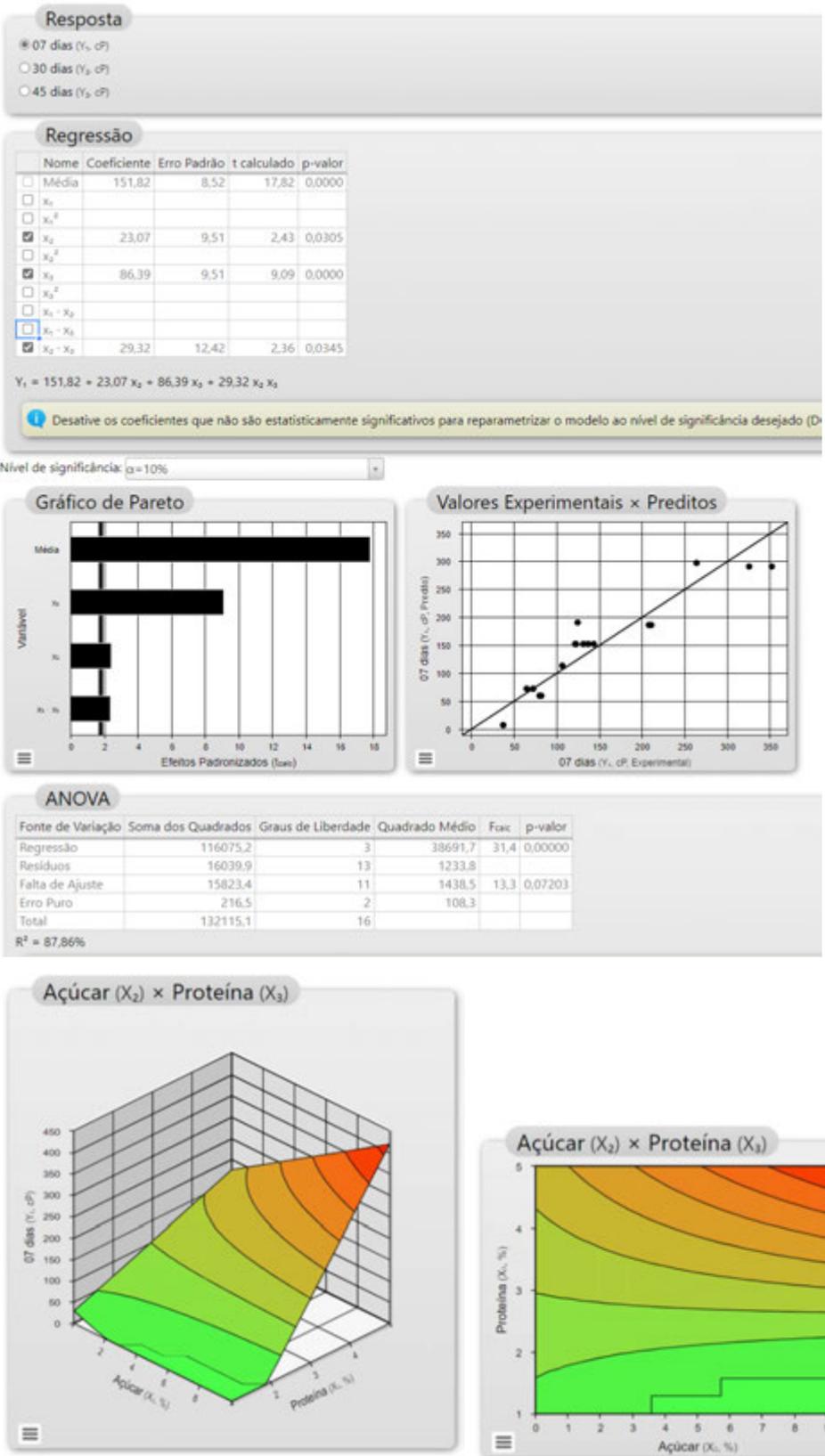


Figura 58. Análise estatística da resposta se Análise de Viscosidade 100s-1 com 07 dias das formulações com a fibra prebiótica XOS (Fonte: Protimiza, 2022).

Resposta

- 07 dias (Y_1 , cP)
- 30 dias (Y_2 , cP)
- 45 dias (Y_3 , cP)

Regressão

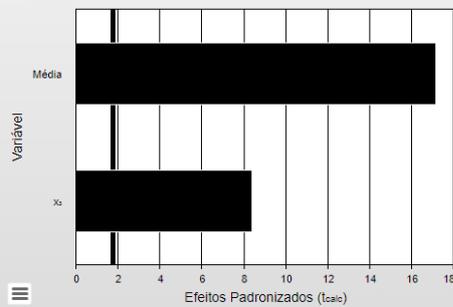
	Nome	Coefficiente	Erro Padrão	t calculado	p-valor
<input type="checkbox"/>	Média	147,08	8,56	17,17	0,0000
<input type="checkbox"/>	X_1				
<input type="checkbox"/>	X_1^2				
<input type="checkbox"/>	X_2				
<input type="checkbox"/>	X_2^2				
<input checked="" type="checkbox"/>	X_3	79,99	9,55	8,37	0,0000
<input type="checkbox"/>	X_3^2				
<input type="checkbox"/>	$X_1 \cdot X_2$				
<input type="checkbox"/>	$X_1 \cdot X_3$				
<input type="checkbox"/>	$X_2 \cdot X_3$				

$$Y_2 = 147,08 + 79,99 X_3$$

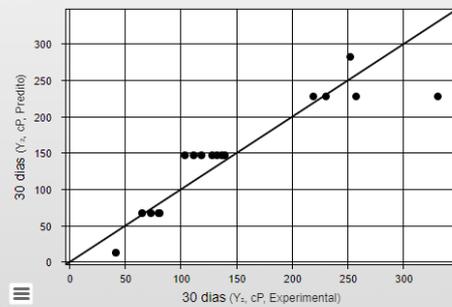
i Desative os coeficientes que não são estatisticamente significativos para reparametrizar o modelo ao nível de significância desejado (De

Nível de significância: $\alpha=10\%$

Gráfico de Pareto



Valores Experimentais x Preditos



ANOVA

Fonte de Variação	Soma dos Quadrados	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	Fcalc	p-valor
Regressão	87373,5	1	87373,5	70,1	0,00000
Resíduos	18701,3	15	1246,8		
Falta de Ajuste	18512,7	13	1424,1	15,1	0,06375
Erro Puro	188,6	2	94,3		
Total	106074,8	16			

$$R^2 = 82,37\%$$

Proteína (X_3)

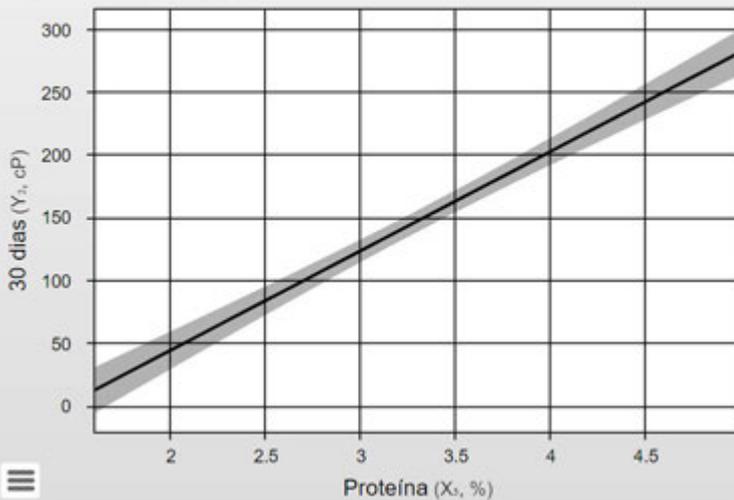


Figura 59. Análise estatística da resposta se Análise de Viscosidade 100s-1 com 30 dias das formulações com a fibra prebiótica XOS (Fonte: Protimiza, 2022).

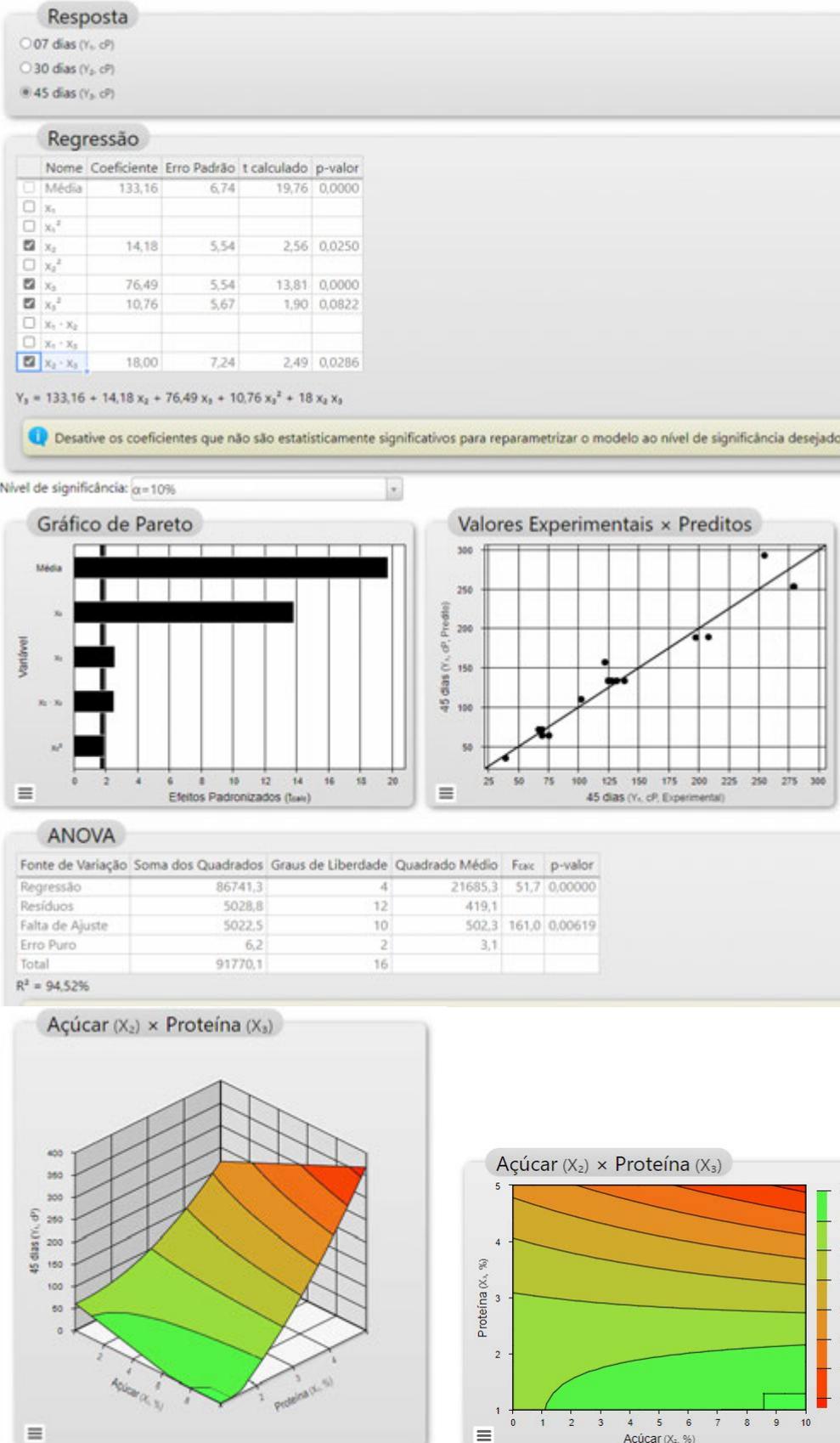


Figura 60. Análise estatística da resposta se Análise de Viscosidade 100s-1 com 45 dias das formulações com a fibra prebiótica XOS (Fonte: Protimiza, 2022).

8.1.5 Tabelas e gráficos - Análise de Viscosidade

A **tabela 25**, contém os valores de **k(mPa)**, índice de viscosidade e **n**, comportamento de fluxo e **tabela 26**, viscosidade aparente (mPa.s) de todas as repetições e na **figura 61**, está a representação gráfica dessas repetições, todos referentes aos ensaios reológicos realizados nas formulações XOS 07 dias após sua formulação, todos os ensaios foram realizados na temperatura de 10°C.

Tabela 25. Parâmetros ajustados (Modelo de Lei da Potência) aos reogramas das amostras com fibra prebiótica XOS 07 dias após formulação à 10°C.

(a) XOS F01 07 dias						(b) XOS F02 07 dias					
Curva ascendente						Curva ascendente					
Rep.	Counter	K (mPa)	n	R ²	RSD(%)	Rep.	Counter	K (mPa)	n	R ²	RSD(%)
R1	128	1363.70	0.3478	0.9979	0.0683	R1	131	1591.00	0.3388	0.9981	0.0637
R2	129	1406.70	0.3314	0.9964	0.0952	R2	132	1542.80	0.3262	0.9968	0.0841
R3	130	1327.00	0.3376	0.9974	0.0774	R3	133	1498.60	0.3372	0.9960	0.1046
Média		1365.80	0.3389			Média		1544.13	0.3341		
DP		39.89	0.0083			DP		46.21	0.0069		
(c) XOS F03 07 dias						(d) XOS F04 07 dias					
Curva ascendente						Curva ascendente					
Rep.	Counter	K (mPa)	n	R ²	RSD(%)	Rep.	Counter	K (mPa)	n	R ²	RSD(%)
R1	134	1729.10	0.3333	0.9942	0.1300	R1	137	1610.70	0.3414	0.9935	0.1263
R2	135	1691.40	0.3430	0.9947	0.1276	R2	138	1741.30	0.3350	0.9942	0.1175
R3	136	1572.70	0.3458	0.9961	0.0970	R3	139	1906.00	0.3276	0.9952	0.1176
Média		1664.40	0.3407			Média		1752.67	0.3347		
DP		81.62	0.0066			DP		147.98	0.0069		
(e) XOS F05 07 dias						(f) XOS F06 07 dias					
Curva ascendente						Curva ascendente					
Rep.	Counter	K (mPa)	n	R ²	RSD(%)	Rep.	Counter	K (mPa)	n	R ²	RSD(%)
R1	140	7802.70	0.2292	0.9798	0.1561	R1	143	8336.70	0.2055	0.9417	0.2363
R2	141	7046.60	0.2327	0.9715	0.1878	R2	144	7767.70	0.2093	0.9629	0.1916
R3	142	6960.00	0.2318	0.9691	0.1948	R3	145	6923.60	0.2330	0.9608	0.2204
Média		7269.77	0.2312			Média		7676.00	0.2159		
DP		463.56	0.0018			DP		711.00	0.0149		
(g) XOS F07 07 dias						(h) XOS F08 07 dias					
Curva ascendente						Curva ascendente					
Rep.	Counter	K (mPa)	n	R ²	RSD(%)	Rep.	Counter	K (mPa)	n	R ²	RSD(%)
R1	147	12679.30	0.2212	0.9644	0.1961	R1	150	16270.50	0.1600	0.8423	0.3071
R2	148	11031.90	0.2484	0.9746	0.1850	R2	151	13956.20	0.1825	0.8607	0.3234
R3	149	11377.90	0.2487	0.9534	0.2522	R3	152	11211.70	0.2157	0.9589	0.2081
Média		11696.37	0.2394			Média		13812.80	0.1861		
DP		868.65	0.0158			DP		2532.45	0.0280		
(i) XOS F09 07 dias						(j) XOS F10 07 dias					
Curva ascendente						Curva ascendente					
Rep.	Counter	K (mPa)	n	R ²	RSD(%)	Rep.	Counter	K (mPa)	n	R ²	RSD(%)
R1	153	3693.20	0.2600	0.9888	0.1306	R1	156	4612.90	0.2431	0.9875	0.1348
R2	154	3345.60	0.2773	0.9883	0.1383	R2	157	4164.10	0.2565	0.9770	0.1955
R3	155	3152.50	0.2929	0.9894	0.1350	R3	158	4538.10	0.2326	0.9945	0.0857
Média		3397.10	0.2767			Média		4438.37	0.2441		
DP		274.00	0.0165			DP		240.45	0.0120		
(k) XOS F11 07 dias						(l) XOS F12 07 dias					
Curva ascendente						Curva ascendente					
Rep.	Counter	K (mPa)	n	R ²	RSD(%)	Rep.	Counter	K (mPa)	n	R ²	RSD(%)
R1	159	3031.50	0.2619	0.9925	0.1031	R1	162	3031.50	0.2619	0.9925	0.1031
R2	160	3027.60	0.2671	0.9951	0.0874	R2	163	4740.80	0.2295	0.9968	0.0606
R3	161	3278.20	0.2701	0.9910	0.1226	R3	164	4425.70	0.2374	0.9960	0.0698
Média		3112.43	0.2664			Média		4066.00	0.2429		
DP		143.57	0.0041			DP		909.65	0.0169		

(m) XOS F13 07 dias							(n) XOS F14 07 dias						
Curva ascendente							Curva ascendente						
Rep.	Counter	K (mPa)	n	R ²	RSD(%)		Rep.	Counter	K (mPa)	n	R ²	RSD(%)	
R1	166	653.10	0.3764	0.9739	0.3328		R1	169	9850.50	0.2224	0.9689	0.1977	
R2	167	582.90	0.3989	0.9793	0.3101		R2	170	9309.80	0.2262	0.9609	0.2209	
R3	168	609.50	0.3890	0.9823	0.2778		R3	171	8518.10	0.2369	0.9842	0.1461	
Média		615.17	0.3881				Média		9226.13	0.2285			
DP		35.44	0.0113				DP		670.13	0.0075			

(o) XOS PC01 07 dias							(p) XOS PC02 07 dias						
Curva ascendente							Curva ascendente						
Rep.	Counter	K (mPa)	n	R ²	RSD(%)		Rep.	Counter	K (mPa)	n	R ²	RSD(%)	
R1	173	3181.20	0.2981	0.9858	0.1738		R1	176	3991.30	0.2596	0.9937	0.0935	
R2	174	2992.40	0.2987	0.9808	0.2102		R2	177	3886.90	0.2670	0.9952	0.0842	
R3	175	2839.00	0.3186	0.9820	0.1918		R3	178	3814.00	0.2632	0.9930	0.1008	
Média		3004.20	0.3051				Média		3897.40	0.2633			
DP		171.40	0.0117				DP		89.12	0.0037			

(q) XOS PC03 07 dias						
Curva ascendente						
Rep.	Counter	K (mPa)	n	R ²	RSD(%)	
R1	179	3339.70	0.3148	0.9890	0.1644	
R2	180	3269.80	0.3134	0.9868	0.1837	
R3	181	2982.70	0.3482	0.9945	0.1172	
Média		3197.40	0.3255			
DP		189.19	0.0197			

Tabela 26. Viscosidades aparentes nas taxas de 50 e 100s⁻¹ (Modelo de Lei da Potência) – das formulações com fibra prebiótica XOS 07 dias após formulação à 10°C.

(a) XOS F01 07 dias					(b) XOS F02 07 dias										
Curva ascendente					Curva ascendente										
Tx. D (1/s)		50			100			Tx. D (1/s)		50			100		
Rep.	Counter	η_{ap} (mPa.s)		η_{ap} (mPa.s)	Rep.	Counter	η_{ap} (mPa.s)		η_{ap} (mPa.s)	Rep.	Counter	η_{ap} (mPa.s)		η_{ap} (mPa.s)	
R1	128	106.33		67.66	R1	131	119.76		75.73	R1	137	122.48		77.59	
R2	129	102.87		64.71	R2	132	110.55		69.30	R2	138	129.14		81.45	
R3	130	99.42		62.82	R3	133	112.10		70.81	R3	139	137.32		86.16	
Média		102.87		65.06	Média		114.14		71.95	Média		129.65		81.73	
DP		3.45		2.44	DP		4.93		3.36	DP		7.43		4.29	

(c) XOS F03 07 dias					(d) XOS F04 07 dias										
Curva ascendente					Curva ascendente										
Tx. D (1/s)		50			100			Tx. D (1/s)		50			100		
Rep.	Counter	η_{ap} (mPa.s)		η_{ap} (mPa.s)	Rep.	Counter	η_{ap} (mPa.s)		η_{ap} (mPa.s)	Rep.	Counter	η_{ap} (mPa.s)		η_{ap} (mPa.s)	
R1	134	127.38		80.25	R1	137	122.48		77.59	R1	143	372.53		214.78	
R2	135	129.43		82.08	R2	138	129.14		81.45	R2	144	352.30		203.65	
R3	136	121.67		77.31	R3	139	137.32		86.16	R3	145	344.53		202.46	
Média		126.16		79.88	Média		129.65		81.73	Média		356.45		206.96	
DP		4.02		2.41	DP		7.43		4.29	DP		14.46		6.80	

(e) XOS F05 07 dias					(f) XOS F06 07 dias										
Curva ascendente					Curva ascendente										
Tx. D (1/s)		50			100			Tx. D (1/s)		50			100		
Rep.	Counter	η_{ap} (mPa.s)		η_{ap} (mPa.s)	Rep.	Counter	η_{ap} (mPa.s)		η_{ap} (mPa.s)	Rep.	Counter	η_{ap} (mPa.s)		η_{ap} (mPa.s)	
R1	140	382.54		224.20	R1	143	372.53		214.78	R1	143	372.53		214.78	
R2	141	350.24		205.77	R2	144	352.30		203.65	R2	144	352.30		203.65	
R3	142	344.72		202.40	R3	145	344.53		202.46	R3	145	344.53		202.46	
Média		359.16		210.79	Média		356.45		206.96	Média		356.45		206.96	
DP		20.43		11.74	DP		14.46		6.80	DP		14.46		6.80	

(g) XOS F07 07 dias					(h) XOS F08 07 dias					
		Curva ascendente					Curva ascendente			
Tx. D (1/s)		50	100		Tx. D (1/s)		50	100		
Rep.	Counter	η_{ap} (mPa.s)	η_{ap} (mPa.s)		Rep.	Counter	η_{ap} (mPa.s)	η_{ap} (mPa.s)		
R1	147	602.47	351.15		R1	150	608.51	339.94		
R2	148	583.05	346.30		R2	151	569.98	323.42		
R3	149	602.04	357.65		R3	152	521.40	302.74		
		Média	595.85	351.70				Média	566.63	322.03
		DP	11.09	5.70				DP	43.65	18.64

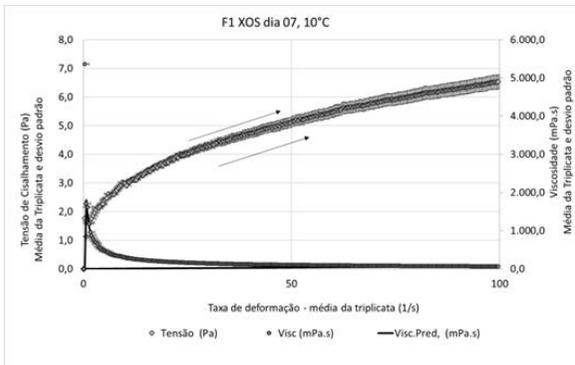
(i) XOS F09 07 dias					(j) XOS F10 07 dias					
		Curva ascendente					Curva ascendente			
Tx. D (1/s)		50	100		Tx. D (1/s)		50	100		
Rep.	Counter	η_{ap} (mPa.s)	η_{ap} (mPa.s)		Rep.	Counter	η_{ap} (mPa.s)	η_{ap} (mPa.s)		
R1	153	204.25	122.29		R1	156	238.79	141.31		
R2	154	197.98	119.97		R2	157	227.16	135.68		
R3	155	198.30	121.47		R3	158	225.47	132.46		
		Média	200.18	121.24				Média	230.47	136.48
		DP	3.53	1.18				DP	7.25	4.48

(k) XOS F11 07 dias					(l) XOS F12 07 dias					
		Curva ascendente					Curva ascendente			
Tx. D (1/s)		50	100		Tx. D (1/s)		50	100		
Rep.	Counter	η_{ap} (mPa.s)	η_{ap} (mPa.s)		Rep.	Counter	η_{ap} (mPa.s)	η_{ap} (mPa.s)		
R1	159	168.91	101.26		R1	162	168.91	101.26		
R2	160	172.16	103.59		R2	163	232.70	136.41		
R3	161	188.61	113.72		R3	164	224.05	132.06		
		Média	176.56	106.19				Média	208.55	123.25
		DP	10.56	6.62				DP	34.61	19.16

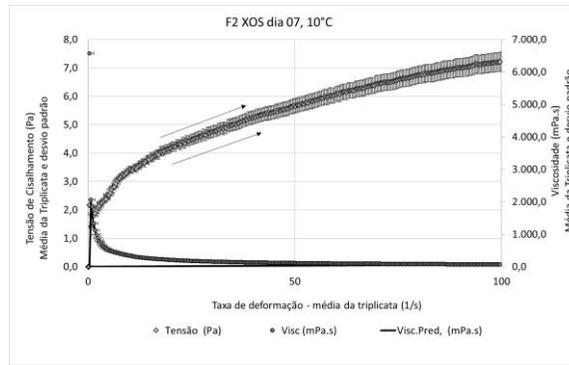
(m) XOS F13 07 dias					(n) XOS F14 07 dias					
		Curva ascendente					Curva ascendente			
Tx. D (1/s)		50	100		Tx. D (1/s)		50	100		
Rep.	Counter	η_{ap} (mPa.s)	η_{ap} (mPa.s)		Rep.	Counter	η_{ap} (mPa.s)	η_{ap} (mPa.s)		
R1	166	56.95	36.96		R1	169	470.26	274.32		
R2	167	55.51	36.59		R2	170	451.10	263.84		
R3	168	55.83	36.56		R3	171	430.39	253.60		
		Média	56.10	36.70				Média	450.58	263.92
		DP	0.76	0.23				DP	19.94	10.36

(o) XOS PC01 07 dias					(p) XOS PC02 07 dias					
		Curva ascendente					Curva ascendente			
Tx. D (1/s)		50	100		Tx. D (1/s)		50	100		
Rep.	Counter	η_{ap} (mPa.s)	η_{ap} (mPa.s)		Rep.	Counter	η_{ap} (mPa.s)	η_{ap} (mPa.s)		
R1	173	204.21	125.54		R1	176	220.39	131.92		
R2	174	192.54	118.42		R2	177	220.93	132.92		
R3	175	197.46	123.13		R3	178	213.59	128.17		
		Média	198.07	122.36				Média	218.30	131.00
		DP	5.86	3.62				DP	4.09	2.51

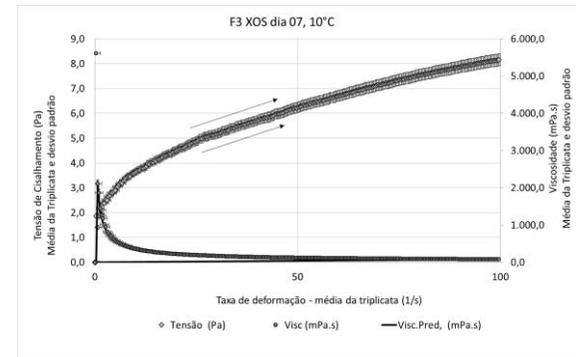
(q) XOS PC03 07 dias				
		Curva ascendente		
Tx. D (1/s)		50	100	
Rep.	Counter	η_{ap} (mPa.s)	η_{ap} (mPa.s)	
R1	179	228.86	142.33	
R2	180	222.85	138.46	
R3	181	232.93	148.26	
		Média	228.21	143.02
		DP	5.07	4.93



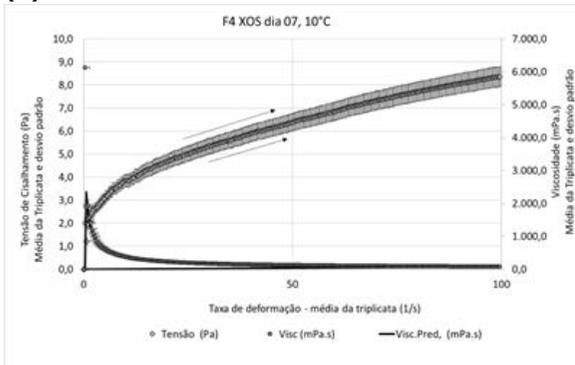
(a) XOS F01 07 dias



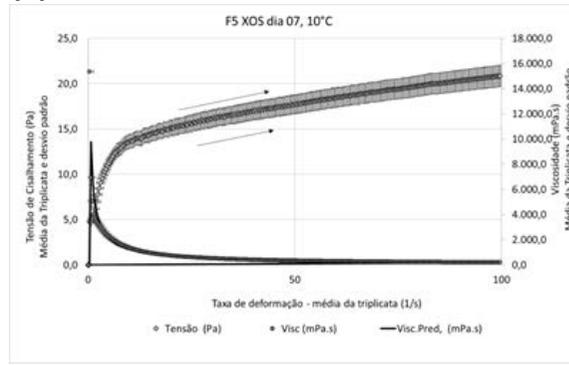
(b) XOS F02 07 dias



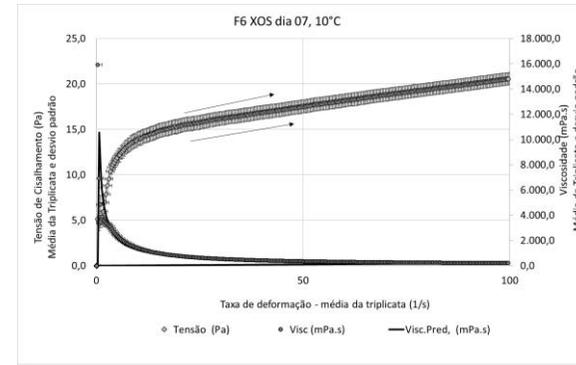
(c) XOS F03 07 dias



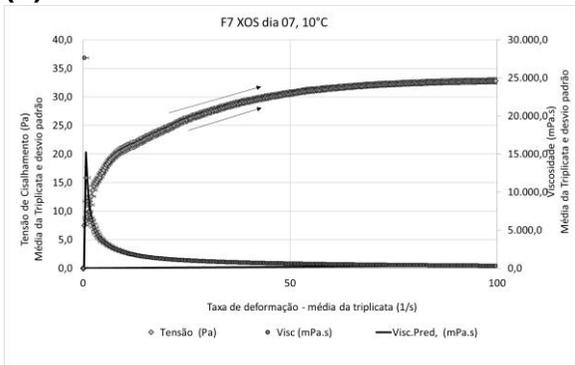
(d) XOS F04 07 dias



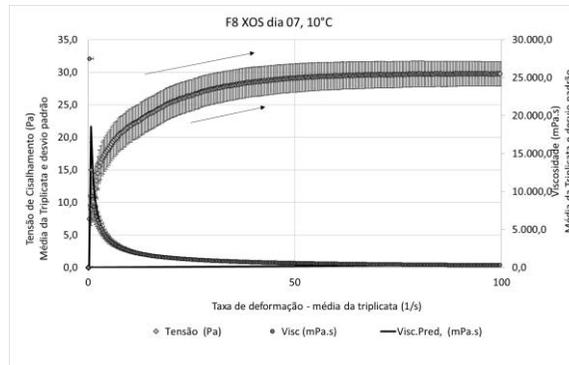
(e) XOS F05 07 dias



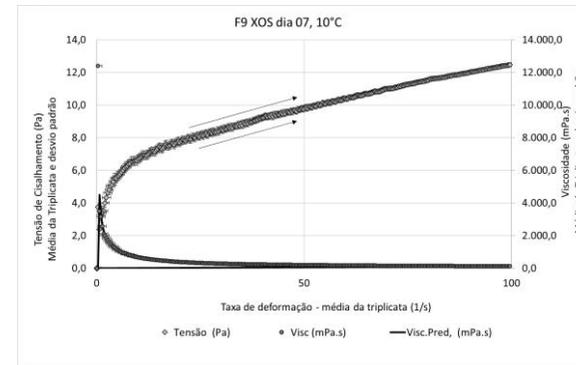
(f) XOS F06 07 dias



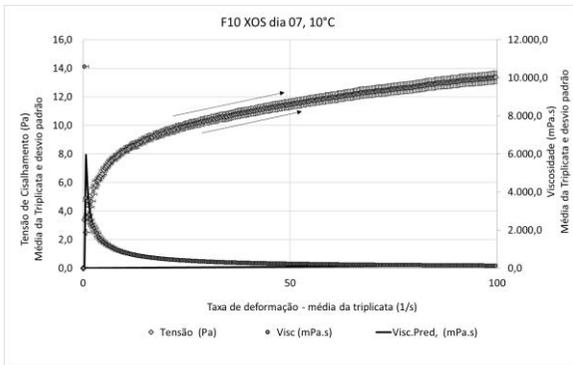
(g) XOS F07 07 dias



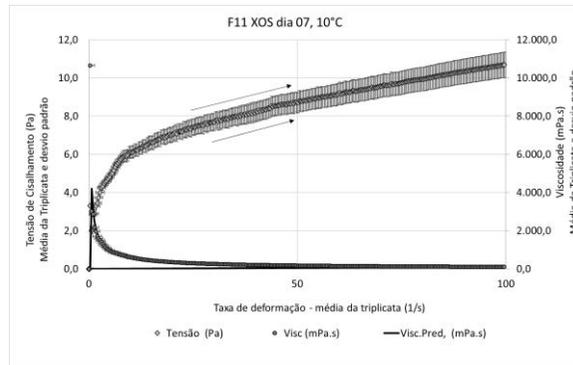
(h) XOS F08 07 dias



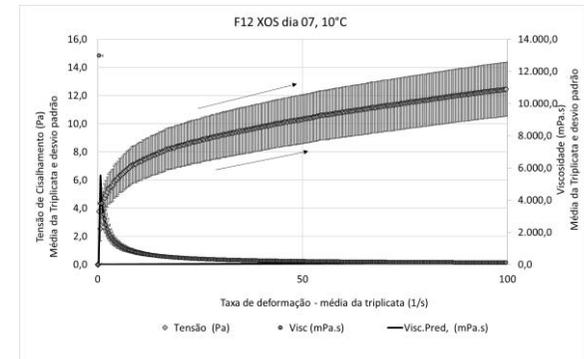
(i) XOS F09 07 dias



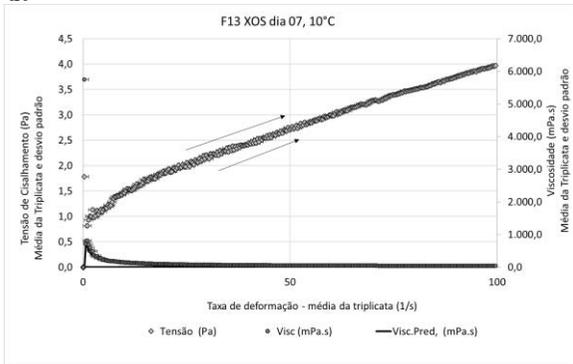
(j) XOS F10 07 dias



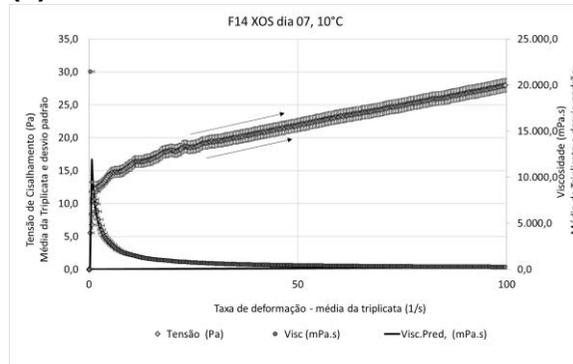
(k) XOS F11 07 dias



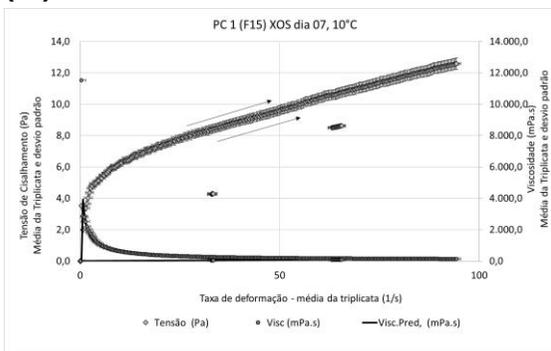
(l) XOS F12 07 dias



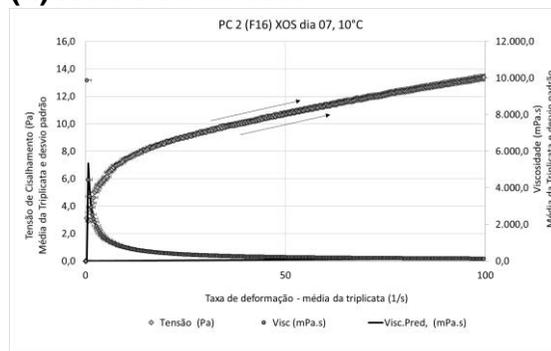
(m) XOS F13 07 dias



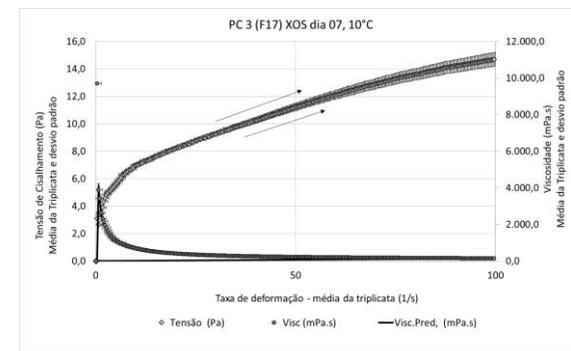
(n) XOS F14 07 dias



(o) XOS PC01 07 dias



(p) XOS PC02 07 dias



(q) XOS PC03 07 dias

Figura 61. Comportamento reológico – Amostras com fibra prebiótica XOS 07 dias após formulação à 10°C - Ajuste ao Modelo de Lei da Potência.

A **tabela 27**, contém os valores de **k(mPa)**, índice de viscosidade e **n**, comportamento de fluxo e **tabela 28**, viscosidade aparente (mPa.s) de todas as repetições e na **figura 62**, está a representação gráfica dessas repetições, todos referentes aos ensaios reológicos realizados nas formulações XOS 30 dias após sua formulação, todos os ensaios foram realizados na temperatura de 10°C.

Tabela 27. Parâmetros ajustados (Modelo de Lei da Potência) aos reogramas das amostras com fibra prebiótica XOS 30 dias após formulação à 10°C.

(a) XOS F01 30 dias							(b) XOS F02 30 dias								
Curva ascendente							Curva ascendente								
Rep.	Counter	K (mPa)	n	R ²	RSD(%)		Rep.	Counter	K (mPa)	n	R ²	RSD(%)			
R1	202	1763.70	0.2898	0.9970	0.0730		R1	205	1822.20	0.3085	0.9973	0.0726			
R2	203	1607.00	0.3017	0.9979	0.0612		R2	206	1835.80	0.2964	0.9975	0.0681			
R3	204	1661.50	0.2921	0.9972	0.0742		R3	207	1924.20	0.2852	0.9962	0.0841			
	Média	1677.40	0.2945					Média	1860.73	0.2967					
	DP	79.55	0.0063					DP	55.38	0.0117					
(c) XOS F03 30 dias							(d) XOS F04 30 dias								
Curva ascendente							Curva ascendente								
Rep.	Counter	K (mPa)	n	R ²	RSD(%)		Rep.	Counter	K (mPa)	n	R ²	RSD(%)			
R1	208	2058.80	0.3041	0.9927	0.1354		R1	211	2008.90	0.3066	0.9922	0.1247			
R2	209	1834.60	0.3170	0.9955	0.1047		R2	212	1911.30	0.3094	0.9939	0.1172			
R3	210	1960.20	0.3000	0.9923	0.1394		R3	213	2020.20	0.3007	0.9951	0.1016			
	Média	1951.20	0.3070					Média	1980.13	0.3056					
	DP	112.37	0.0089					DP	59.88	0.0044					
(e) XOS F05 30 dias							(f) XOS F06 30 dias								
Curva ascendente							Curva ascendente								
Rep.	Counter	K (mPa)	n	R ²	RSD(%)		Rep.	Counter	K (mPa)	n	R ²	RSD(%)			
R1	214	7177.50	0.2307	0.9707	0.1870		R1	217	9492.60	0.1780	0.9656	0.1586			
R2	215	8839.00	0.2115	0.9721	0.1697		R2	218	9135.40	0.1910	0.9598	0.1831			
R3	216	8443.40	0.2334	0.9760	0.1748		R3	219	8336.00	0.2100	0.9656	0.1876			
	Média	8153.30	0.2252					Média	8988.00	0.1930					
	DP	867.91	0.0119					DP	592.22	0.0161					
(g) XOS F07 30 dias							(h) XOS F08 30 dias								
Curva ascendente							Curva ascendente								
Rep.	Counter	K (mPa)	n	R ²	RSD(%)		Rep.	Counter	K (mPa)	n	R ²	RSD(%)			
R1	221	12121.60	0.2037	0.9945	0.0725		R1	224	11847.40	0.1620	0.9620	0.1537			
R2	222	13030.90	0.2005	0.9916	0.0887		R2	225	12713.40	0.1607	0.9357	0.1969			
R3	223	14328.80	0.1967	0.9821	0.1270		R3	226	11602.80	0.1727	0.9181	0.2370			
	Média	13160.43	0.2003					Média	12054.53	0.1651					
	DP	1109.29	0.0035					DP	583.55	0.0066					
(i) XOS F09 30 dias							(j) XOS F10 30 dias								
Curva ascendente							Curva ascendente								
Rep.	Counter	K (mPa)	n	R ²	RSD(%)		Rep.	Counter	K (mPa)	n	R ²	RSD(%)			
R1	227	3957.90	0.2635	0.9897	0.1212		R1	230	4892.50	0.2304	0.9914	0.1044			
R2	228	3852.80	0.2577	0.9885	0.1285		R2	231	4888.50	0.2195	0.9942	0.0828			
R3	229	3606.10	0.2676	0.9894	0.1245		R3	232	5367.60	0.2126	0.9906	0.1020			
	Média	3805.60	0.2629					Média	5049.53	0.2208					
	DP	180.59	0.0050					DP	275.46	0.0090					
(k) XOS F11 30 dias							(l) XOS F12 30 dias								
Curva ascendente							Curva ascendente								
Rep.	Counter	K (mPa)	n	R ²	RSD(%)		Rep.	Counter	K (mPa)	n	R ²	RSD(%)			
R1	233	3613.50	0.2332	0.9942	0.0859		R1	236	3898.00	0.2291	0.9958	0.0725			
R2	234	3404.10	0.2319	0.9957	0.0704		R2	237	3614.40	0.2436	0.9925	0.0966			
R3	235	3273.90	0.2531	0.9911	0.1141		R3	239	3927.60	0.2275	0.9951	0.0786			
	Média	3430.50	0.2394					Média	3813.33	0.2334					
	DP	171.33	0.0119					DP	172.92	0.0089					
(m) XOS F13 30 dias							(n) XOS F14 30 dias								

Curva ascendente						Curva ascendente					
Rep.	Counter	K (mPa)	n	R ²	RSD(%)	Rep.	Counter	K (mPa)	n	R ²	RSD(%)
R1	242	767.20	0.3831	0.9786	0.2776	R1	245	9282.10	0.2296	0.9859	0.1274
R2	243	1046.60	0.2837	0.9228	0.4177	R2	246	10111.60	0.1911	0.9733	0.1496
R3	244	920.90	0.3244	0.9721	0.2734	R3	247	9049.80	0.2169	0.9778	0.1564
Média		911.57	0.3304			Média		9481.17	0.2125		
DP		139.93	0.0500			DP		558.19	0.0196		

(o) XOS PC01 30 dias						(p) XOS PC02 30 dias					
Curva ascendente						Curva ascendente					
Rep.	Counter	K (mPa)	n	R ²	RSD(%)	Rep.	Counter	K (mPa)	n	R ²	RSD(%)
R1	248	3337.00	0.2770	0.9866	0.1447	R1	252	4231.00	0.2396	0.9966	0.0647
R2	249	3405.60	0.2738	0.9855	0.1519	R2	253	4272.50	0.2464	0.9961	0.0706
R3	250	3370.20	0.2671	0.9864	0.1417	R3	254	4463.10	0.2419	0.9961	0.0703
Média		3370.93	0.2726			Média		4322.20	0.2426		
DP		34.31	0.0051			DP		123.77	0.0035		

(q) XOS PC03 30 dias					
Curva ascendente					
Rep.	Counter	K (mPa)	n	R ²	RSD(%)
R1	255	3747.50	0.2804	0.9902	0.1321
R2	256	3793.70	0.2781	0.9893	0.1464
R3	257	3527.60	0.2962	0.9916	0.1238
Média		3689.60	0.2849		
DP		142.19	0.0099		

Tabela 28. Viscosidades aparentes nas taxas de 50 e 100s⁻¹ (Modelo de Lei da Potência) – amostras com fibra prebiótica XOS 30 dias após formulação à 10°C.

(a) XOS F01 30 dias					(b) XOS F02 30 dias				
Curva ascendente					Curva ascendente				
Tx. D (1/s)		50		100	Tx. D (1/s)		50		100
Rep.	Counter	η_{ap} (mPa.s)	η_{ap} (mPa.s)		Rep.	Counter	η_{ap} (mPa.s)	η_{ap} (mPa.s)	
R1	202	109.60	66.99		R1	205	121.83	75.44	
R2	203	104.62	64.48		R2	206	117.07	71.88	
R3	204	104.18	63.78		R3	207	117.44	71.56	
Média		106.14	65.08		Média		118.78	72.96	
DP		3.01	1.69		DP		2.65	2.15	

(c) XOS F03 30 dias					(d) XOS F04 30 dias				
Curva ascendente					Curva ascendente				
Tx. D (1/s)		50		100	Tx. D (1/s)		50		100
Rep.	Counter	η_{ap} (mPa.s)	η_{ap} (mPa.s)		Rep.	Counter	η_{ap} (mPa.s)	η_{ap} (mPa.s)	
R1	208	135.30	83.52		R1	211	133.32	82.44	
R2	209	126.81	78.98		R2	212	128.24	79.46	
R3	210	126.77	78.04		R3	213	131.01	80.69	
Média		129.63	80.18		Média		130.86	80.86	
DP		4.91	2.93		DP		2.54	1.50	

(e) XOS F05 30 dias					(f) XOS F06 30 dias				
Curva ascendente					Curva ascendente				
Tx. D (1/s)		50		100	Tx. D (1/s)		50		100
Rep.	Counter	η_{ap} (mPa.s)	η_{ap} (mPa.s)		Rep.	Counter	η_{ap} (mPa.s)	η_{ap} (mPa.s)	
R1	214	353.96	207.67		R1	217	380.92	215.47	
R2	215	404.36	234.10		R2	218	385.71	220.15	
R3	216	420.81	247.35		R3	219	379.12	219.26	
Média		393.04	229.71		Média		381.91	218.29	
DP		34.83	20.20		DP		3.41	2.49	

(g) XOS F07 30 dias					(h) XOS F08 30 dias				

Tx. D (1/s)		Curva ascendente	
		50	100
Rep.	Counter	η_{ap} (mPa.s)	η_{ap} (mPa.s)
R1	221	537.86	309.71
R2	222	571.02	328.08
R3	223	618.62	354.49
Média		575.83	330.76
DP		40.60	22.51

Tx. D (1/s)		Curva ascendente	
		50	100
Rep.	Counter	η_{ap} (mPa.s)	η_{ap} (mPa.s)
R1	224	446.57	249.82
R2	225	476.78	266.48
R3	226	456.04	257.02
Média		459.80	257.77
DP		15.45	8.36

(i) XOS F09 30 dias

Tx. D (1/s)		Curva ascendente	
		50	100
Rep.	Counter	η_{ap} (mPa.s)	η_{ap} (mPa.s)
R1	227	221.91	133.19
R2	228	211.17	126.23
R3	229	205.45	123.66
Média		212.84	127.69
DP		8.35	4.93

(j) XOS F10 30 dias

Tx. D (1/s)		Curva ascendente	
		50	100
Rep.	Counter	η_{ap} (mPa.s)	η_{ap} (mPa.s)
R1	230	240.99	141.36
R2	231	230.74	134.33
R3	232	246.61	142.88
Média		239.45	139.53
DP		8.05	4.56

(k) XOS F11 30 dias

Tx. D (1/s)		Curva ascendente	
		50	100
Rep.	Counter	η_{ap} (mPa.s)	η_{ap} (mPa.s)
R1	233	179.95	105.76
R2	234	168.66	99.04
R3	235	176.24	105.02
Média		174.95	103.27
DP		5.75	3.69

(l) XOS F12 30 dias

Tx. D (1/s)		Curva ascendente	
		50	100
Rep.	Counter	η_{ap} (mPa.s)	η_{ap} (mPa.s)
R1	236	191.03	111.95
R2	237	187.47	110.98
R3	239	191.28	111.98
Média		189.93	111.64
DP		2.13	0.57

(m) XOS F13 30 dias

Tx. D (1/s)		Curva ascendente	
		50	100
Rep.	Counter	η_{ap} (mPa.s)	η_{ap} (mPa.s)
R1	242	68.68	44.78
R2	243	63.51	38.65
R3	244	65.52	41.02
Média		65.90	41.49
DP		2.61	3.09

(n) XOS F14 30 dias

Tx. D (1/s)		Curva ascendente	
		50	100
Rep.	Counter	η_{ap} (mPa.s)	η_{ap} (mPa.s)
R1	245	455.78	267.21
R2	246	427.09	243.79
R3	247	422.84	245.72
Média		435.24	252.24
DP		17.92	13.00

(o) XOS PC01 30 dias

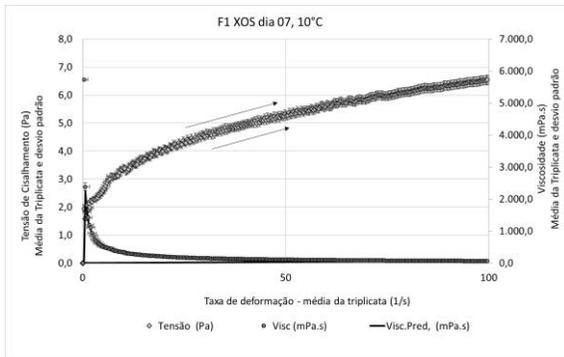
Tx. D (1/s)		Curva ascendente	
		50	100
Rep.	Counter	η_{ap} (mPa.s)	η_{ap} (mPa.s)
R1	248	197.24	119.50
R2	249	198.79	120.17
R3	250	191.64	115.31
Média		195.89	118.32
DP		3.76	2.63

(p) XOS PC02 30 dias

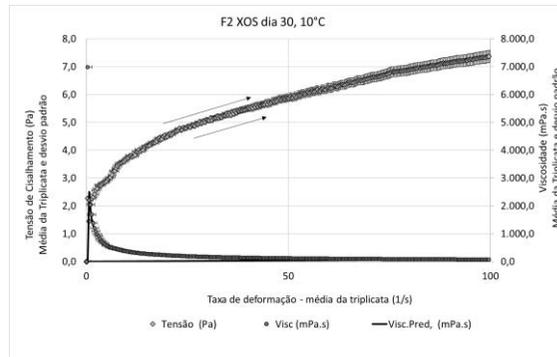
Tx. D (1/s)		Curva ascendente	
		50	100
Rep.	Counter	η_{ap} (mPa.s)	η_{ap} (mPa.s)
R1	252	216.05	127.54
R2	253	224.05	132.89
R3	254	229.96	135.97
Média		223.35	132.13
DP		6.98	4.26

(q) XOS PC03 30 dias

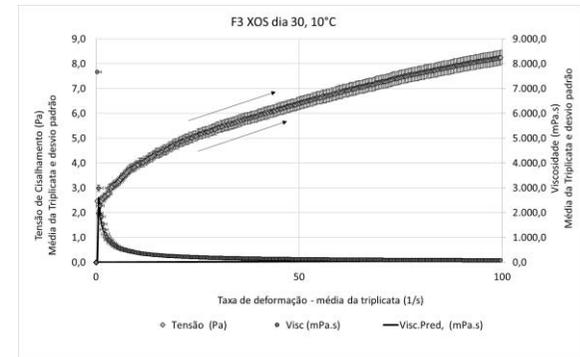
Tx. D (1/s)		Curva ascendente	
		50	100
Rep.	Counter	η_{ap} (mPa.s)	η_{ap} (mPa.s)
R1	255	224.47	136.31
R2	256	225.20	136.54
R3	257	224.77	138.00
Média		224.82	136.95
DP		0.37	0.91



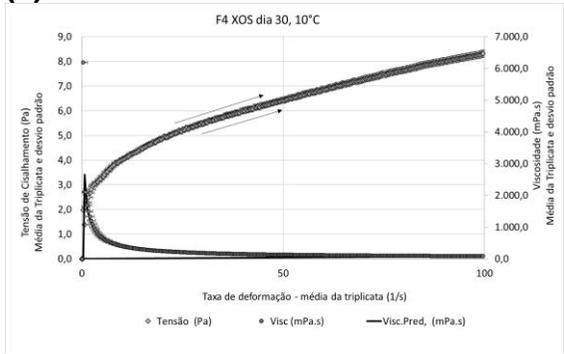
(a) XOS F01 30 dias



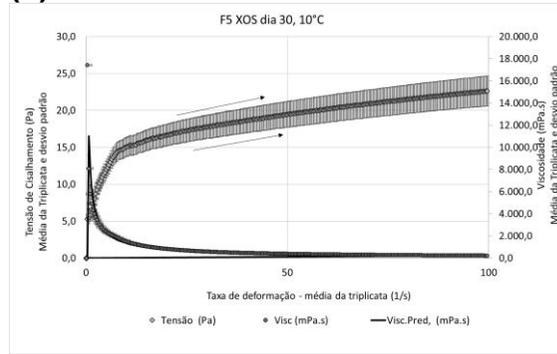
(b) XOS F02 30 dias



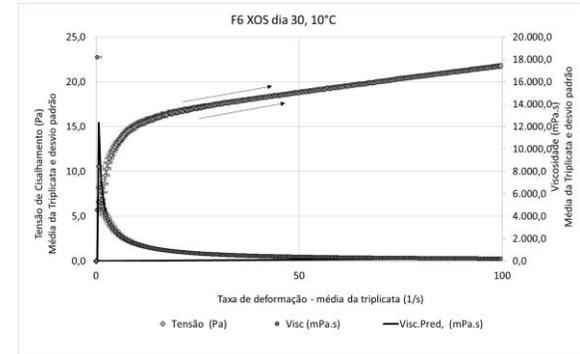
(c) XOS F03 30 dias



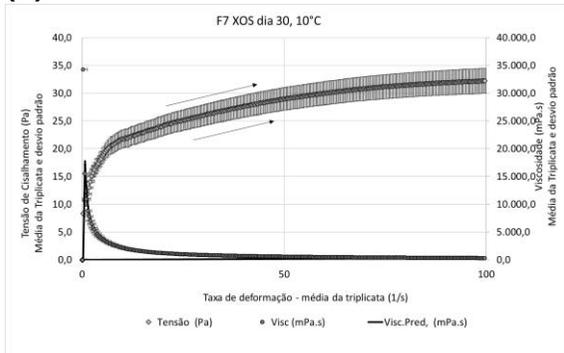
(d) XOS F04 30 dias



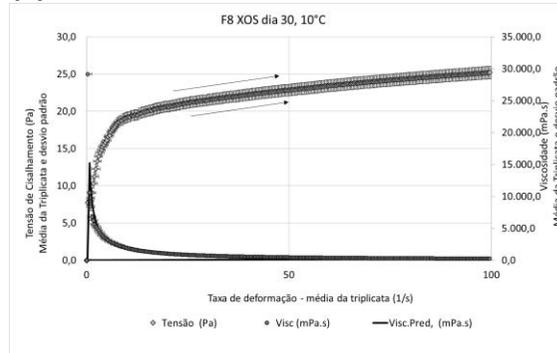
(e) XOS F05 30 dias



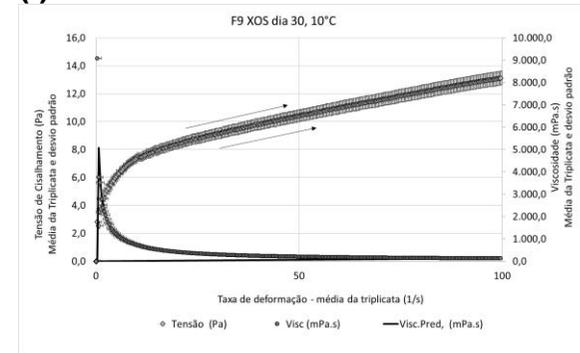
(f) XOS F06 30 dias



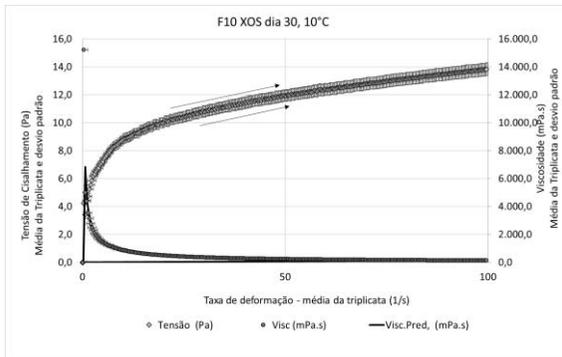
(g) XOS F07 30 dias



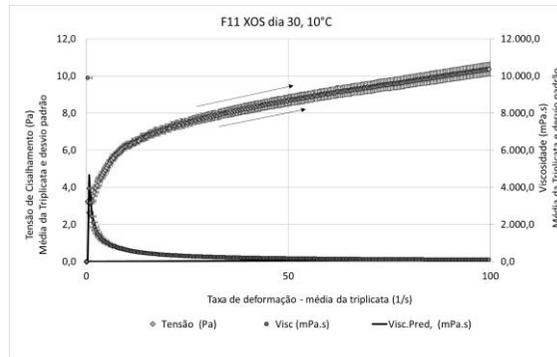
(h) XOS F08 30 dias



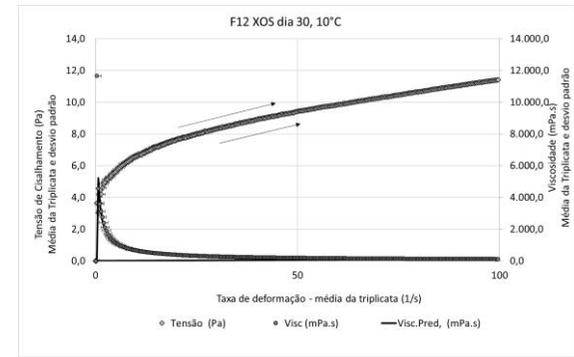
(i) XOS F09 30 dias



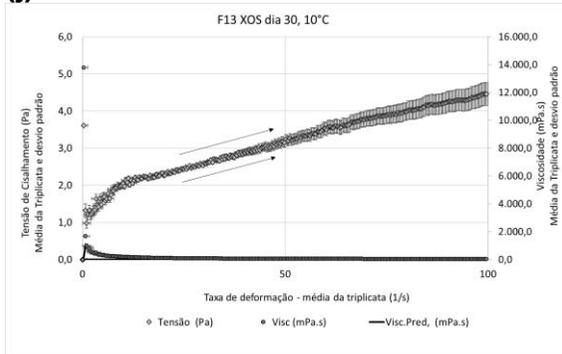
(j) XOS F10 30 dias



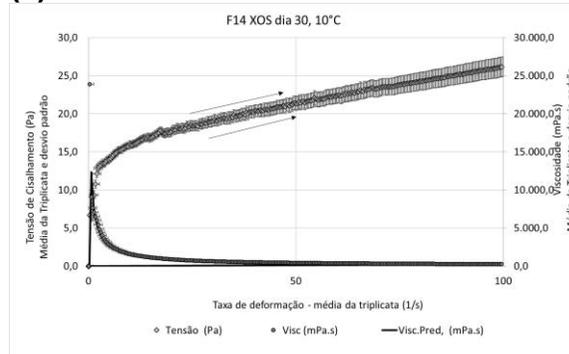
(k) XOS F11 30 dias



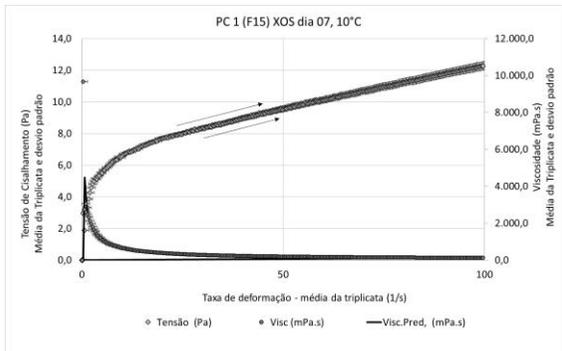
(l) XOS F12 30 dias



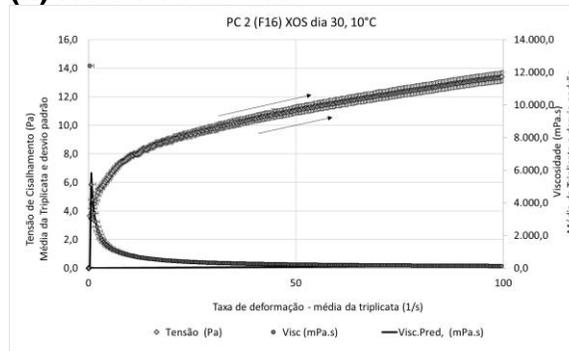
(m) XOS F13 30 dias



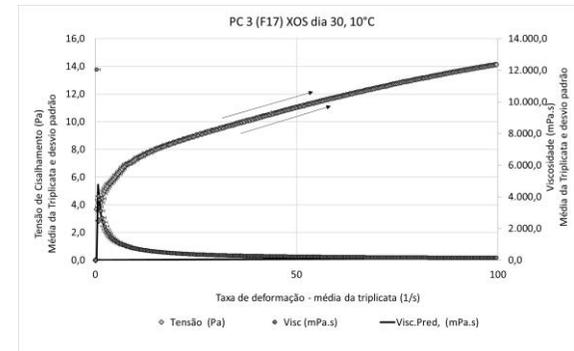
(n) XOS F14 30 dias



(o) XOS PC01 30 dias



(p) XOS PC02 30 dias



(q) XOS PC03 30 dias

Figura 62. Comportamento reológico – Amostras com fibra prebiótica XOS 30 dias após formulação à 10°C - Ajuste ao Modelo de Lei da Potência.

A **tabela 29**, contém os valores de **k(mPa)**, índice de viscosidade e **n**, comportamento de fluxo e **tabela 30**, viscosidade aparente (**mPa.s**) de todas as repetições e na **figura 63**, está a representação gráfica dessas repetições, todos referentes aos ensaios reológicos realizados nas formulações **XOS** 45 dias após sua formulação, todos os ensaios foram realizados na temperatura de 10°C.

Tabela 29. Parâmetros ajustados (Modelo de Lei da Potência) aos reogramas das amostras com fibra prebiótica **XOS** 45 dias após formulação à 10°C.

(a) XOS F01 45 dias						(b) XOS F02 45 dias					
Curva ascendente						Curva ascendente					
Rep.	Counter	K (mPa)	n	R ²	RSD(%)	Rep.	Counter	K (mPa)	n	R ²	RSD(%)
R1	338	1725.30	0.2974	0.9984	0.0541	R1	341	1745.00	0.2959	0.9952	0.1064
R2	339	1596.00	0.3105	0.9980	0.0614	R2	342	1720.20	0.3051	0.9957	0.0958
R3	340	1688.40	0.2980	0.9974	0.0718	R3	343	1694.20	0.3082	0.9950	0.1115
Média		1669.90	0.3020			Média		1719.80	0.3031		
DP		66.61	0.0074			DP		25.40	0.0064		
(c) XOS F03 45 dias						(d) XOS F04 45 dias					
Curva ascendente						Curva ascendente					
Rep.	Counter	K (mPa)	n	R ²	RSD(%)	Rep.	Counter	K (mPa)	n	R ²	RSD(%)
R1	344	1781.60	0.2983	0.9910	0.1501	R1	347	1707.50	0.3158	0.9880	0.1861
R2	345	1771.50	0.2954	0.9885	0.1695	R2	348	1783.70	0.3106	0.9913	0.1542
R3	346	1780.40	0.2936	0.9903	0.1545	R3	349	1917.70	0.3076	0.9917	0.1445
Média		1777.83	0.2958			Média		1802.97	0.3113		
DP		5.52	0.0024			DP		106.42	0.0041		
(e) XOS F05 45 dias						(f) XOS F06 45 dias					
Curva ascendente						Curva ascendente					
Rep.	Counter	K (mPa)	n	R ²	RSD(%)	Rep.	Counter	K (mPa)	n	R ²	RSD(%)
R1	350	7035.00	0.2268	0.9562	0.2281	R1	353	8227.70	0.2069	0.9774	0.1509
R2	351	7082.00	0.2172	0.9723	0.1763	R2	354	7745.10	0.2163	0.9841	0.1325
R3	352	7036.20	0.2274	0.9754	0.1739	R3	355	7609.50	0.2116	0.9854	0.1244
Média		7051.07	0.2238			Média		7860.77	0.2116		
DP		26.80	0.0057			DP		324.93	0.0047		
(g) XOS F07 45 dias						(h) XOS F08 45 dias					
Curva ascendente						Curva ascendente					
Rep.	Counter	K (mPa)	n	R ²	RSD(%)	Rep.	Counter	K (mPa)	n	R ²	RSD(%)
R1	357	10993.90	0.2000	0.9847	0.1184	R1	360	12701.60	0.1816	0.9562	0.1834
R2	358	10309.70	0.2164	0.9896	0.1064	R2	361	12211.70	0.1717	0.9641	0.1588
R3	359	9651.80	0.2314	0.9892	0.1163	R3	362	11654.50	0.1872	0.9643	0.1716
Média		10318.47	0.2159			Média		12189.27	0.1802		
DP		671.09	0.0157			DP		523.91	0.0078		
(i) XOS F09 45 dias						(j) XOS F10 45 dias					
Curva ascendente						Curva ascendente					
Rep.	Counter	K (mPa)	n	R ²	RSD(%)	Rep.	Counter	K (mPa)	n	R ²	RSD(%)
R1	363	3981.00	0.2473	0.9931	0.0946	R1	366	5128.10	0.2177	0.9988	0.0349
R2	364	4095.50	0.2499	0.9948	0.0826	R2	367	4795.80	0.2326	0.9956	0.0759
R3	365	4170.00	0.2648	0.9942	0.0917	R3	368	4658.30	0.2300	0.9985	0.0431
Média		4082.17	0.2540			Média		4860.73	0.2268		
DP		95.20	0.0094			DP		241.54	0.0080		
(k) XOS F11 45 dias						(l) XOS F12 45 dias					
Curva ascendente						Curva ascendente					
Rep.	Counter	K (mPa)	n	R ²	RSD(%)	Rep.	Counter	K (mPa)	n	R ²	RSD(%)
R1	369	3475.40	0.2300	0.9976	0.0529	R1	372	3965.30	0.2421	0.9942	0.0884
R2	370	3311.90	0.2438	0.9977	0.0548	R2	373	3988.20	0.2458	0.9948	0.0813
R3	371	3395.30	0.2458	0.9975	0.0562	R3	374	3977.60	0.2420	0.9923	0.0988
Média		3394.20	0.2399			Média		3977.03	0.2433		
DP		81.76	0.0086			DP		11.46	0.0022		

(m) XOS F13 45 dias							(n) XOS F14 45 dias						
Curva ascendente							Curva ascendente						
Rep.	Counter	K (mPa)	n	R ²	RSD(%)		Rep.	Counter	K (mPa)	n	R ²	RSD(%)	
R1	375	838.20	0.3357	0.9725	0.2842		R1	378	9491.40	0.2114	0.9824	0.1319	
R2	376	860.30	0.3277	0.9667	0.3323		R2	379	9463.30	0.2242	0.9857	0.1249	
R3	377	860.80	0.3316	0.9723	0.2921		R3	380	9315.80	0.2115	0.9829	0.1304	
Média		853.10	0.3317				Média		9423.50	0.2157			
DP		12.91	0.0040				DP		94.32	0.0074			

(o) XOS PC01 45 dias							(p) XOS PC02 45 dias						
Curva ascendente							Curva ascendente						
Rep.	Counter	K (mPa)	n	R ²	RSD(%)		Rep.	Counter	K (mPa)	n	R ²	RSD(%)	
R1	381	3587.30	0.2693	0.9864	0.1533		R1	384	3960.70	0.2503	0.9969	0.0641	
R2	382	3670.20	0.2608	0.9835	0.1702		R2	385	3954.80	0.2525	0.9960	0.0736	
R3	383	3631.80	0.2748	0.9848	0.1648		R3	386	3880.00	0.2479	0.9963	0.0690	
Média		3629.77	0.2683				Média		3931.83	0.2502			
DP		41.49	0.0071				DP		44.99	0.0023			

(q) XOS PC03 45 dias						
Curva ascendente						
Rep.	Counter	K (mPa)	n	R ²	RSD(%)	
R1	387	3671.30	0.2829	0.9920	0.1223	
R2	388	3652.50	0.2709	0.9906	0.1286	
R3	389	3354.80	0.2784	0.9911	0.1216	
Média		3559.53	0.2774			
DP		177.55	0.0061			

Tabela 30. Viscosidades aparentes nas taxas de 50 e 100s⁻¹ (Modelo de Lei da Potência) – amostras com fibra prebiótica XOS 45 dias após formulação à 10°C.

(a) XOS F01 45 dias					(b) XOS F02 45 dias				
Curva ascendente					Curva ascendente				
Tx. D (1/s)		50		100	Tx. D (1/s)		50		100
Rep.	Counter	η_{ap} (mPa.s)		η_{ap} (mPa.s)	Rep.	Counter	η_{ap} (mPa.s)		η_{ap} (mPa.s)
R1	338	110.45		67.87	R1	341	111.06		68.17
R2	339	107.55		66.69	R2	342	113.49		70.11
R3	340	108.34		66.60	R3	343	113.14		70.04
Média		108.78		67.05	Média		112.56		69.44
DP		1.50		0.71	DP		1.32		1.10

(c) XOS F03 45 dias					(d) XOS F04 45 dias				
Curva ascendente					Curva ascendente				
Tx. D (1/s)		50		100	Tx. D (1/s)		50		100
Rep.	Counter	η_{ap} (mPa.s)		η_{ap} (mPa.s)	Rep.	Counter	η_{ap} (mPa.s)		η_{ap} (mPa.s)
R1	344	114.46		70.37	R1	347	117.47		73.11
R2	345	112.52		69.05	R2	348	120.24		74.56
R3	346	112.30		68.82	R3	349	127.77		79.06
Média		113.09		69.41	Média		121.83		75.58
DP		1.19		0.84	DP		5.33		3.11

(e) XOS F05 45 dias					(f) XOS F06 45 dias				
Curva ascendente					Curva ascendente				
Tx. D (1/s)		50		100	Tx. D (1/s)		50		100
Rep.	Counter	η_{ap} (mPa.s)		η_{ap} (mPa.s)	Rep.	Counter	η_{ap} (mPa.s)		η_{ap} (mPa.s)
R1	350	341.68		199.92	R1	353	369.68		213.34
R2	351	331.29		192.56	R2	354	361.03		209.71
R3	352	342.54		200.51	R3	355	348.25		201.63
Média		338.50		197.66	Média		359.65		208.23
DP		6.27		4.43	DP		10.78		6.00

(g) XOS F07 45 dias					(h) XOS F08 45 dias				

		Curva ascendente	
Tx. D (1/s)		50	100
Rep.	Counter	η_{ap} (mPa.s)	η_{ap} (mPa.s)
R1	357	480.81	276.15
R2	358	480.77	279.28
R3	359	477.29	280.16
	Média	479.62	278.53
	DP	2.02	2.11

		Curva ascendente	
Tx. D (1/s)		50	100
Rep.	Counter	η_{ap} (mPa.s)	η_{ap} (mPa.s)
R1	360	516.92	293.13
R2	361	478.10	269.26
R3	362	484.81	275.99
	Média	493.28	279.46
	DP	20.75	12.31

(i) XOS F09 45 dias

		Curva ascendente	
Tx. D (1/s)		50	100
Rep.	Counter	η_{ap} (mPa.s)	η_{ap} (mPa.s)
R1	363	209.50	124.33
R2	364	217.73	129.45
R3	365	234.99	141.17
	Média	220.74	131.65
	DP	13.01	8.63

(j) XOS F10 45 dias

		Curva ascendente	
Tx. D (1/s)		50	100
Rep.	Counter	η_{ap} (mPa.s)	η_{ap} (mPa.s)
R1	366	240.35	139.75
R2	367	238.27	139.98
R3	368	229.10	134.35
	Média	235.91	138.03
	DP	5.99	3.19

(k) XOS F11 45 dias

		Curva ascendente	
Tx. D (1/s)		50	100
Rep.	Counter	η_{ap} (mPa.s)	η_{ap} (mPa.s)
R1	369	170.92	100.23
R2	370	171.92	101.78
R3	371	177.63	105.31
	Média	173.49	102.44
	DP	3.62	2.60

(l) XOS F12 45 dias

		Curva ascendente	
Tx. D (1/s)		50	100
Rep.	Counter	η_{ap} (mPa.s)	η_{ap} (mPa.s)
R1	372	204.47	120.91
R2	373	208.65	123.70
R3	374	205.02	121.23
	Média	206.05	121.95
	DP	2.27	1.53

(m) XOS F13 45 dias

		Curva ascendente	
Tx. D (1/s)		50	100
Rep.	Counter	η_{ap} (mPa.s)	η_{ap} (mPa.s)
R1	375	62.33	39.33
R2	376	62.01	38.91
R3	377	63.00	39.64
	Média	62.45	39.29
	DP	0.50	0.37

(n) XOS F14 45 dias

		Curva ascendente	
Tx. D (1/s)		50	100
Rep.	Counter	η_{ap} (mPa.s)	η_{ap} (mPa.s)
R1	378	434.03	251.26
R2	379	454.97	265.73
R3	380	426.17	246.73
	Média	438.39	254.57
	DP	14.89	9.92

(o) XOS PC01 45 dias

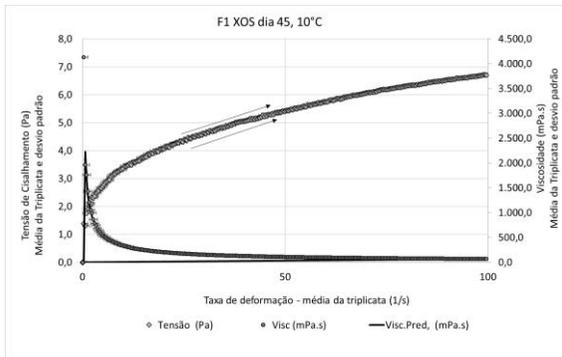
		Curva ascendente	
Tx. D (1/s)		50	100
Rep.	Counter	η_{ap} (mPa.s)	η_{ap} (mPa.s)
R1	381	205.75	123.98
R2	382	203.62	121.98
R3	383	212.83	128.74
	Média	207.40	124.90
	DP	4.82	3.47

(p) XOS PC02 45 dias

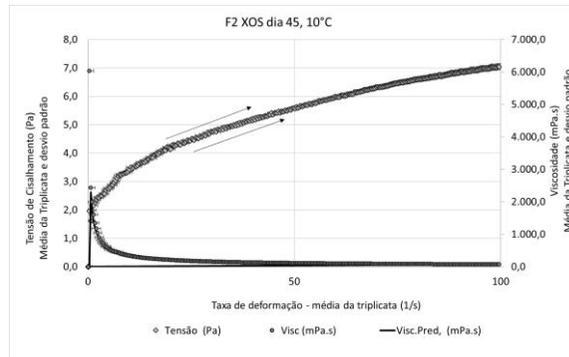
		Curva ascendente	
Tx. D (1/s)		50	100
Rep.	Counter	η_{ap} (mPa.s)	η_{ap} (mPa.s)
R1	384	210.89	125.42
R2	385	212.40	126.51
R3	386	204.66	121.52
	Média	209.32	124.48
	DP	4.10	2.63

(q) XOS PC03 45 dias

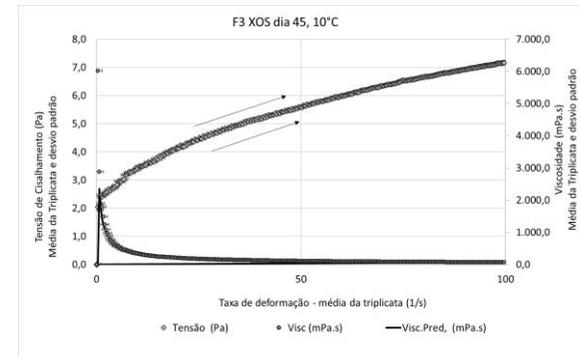
		Curva ascendente	
Tx. D (1/s)		50	100
Rep.	Counter	η_{ap} (mPa.s)	η_{ap} (mPa.s)
R1	387	222.07	135.09
R2	388	210.80	127.17
R3	389	199.38	120.91
	Média	210.75	127.72
	DP	11.34	7.10



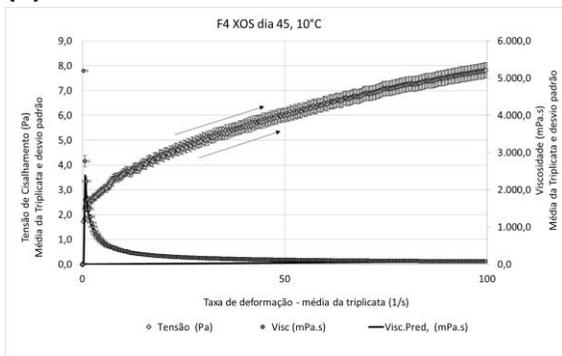
(a) XOS F01 45 dias



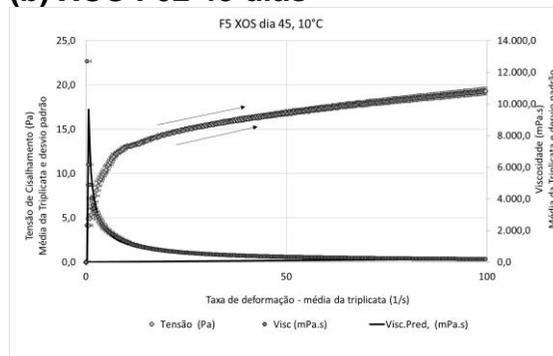
(b) XOS F02 45 dias



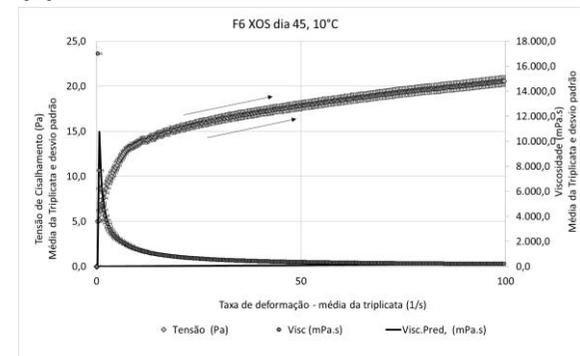
(c) XOS F03 45 dias



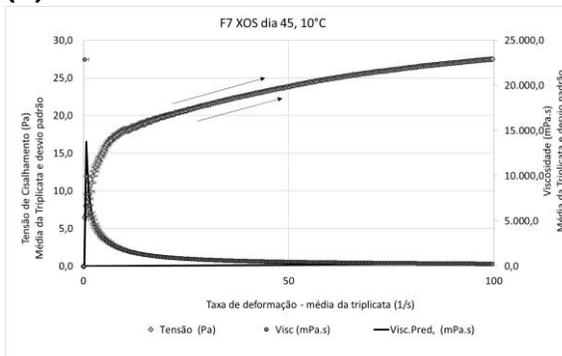
(d) XOS F04 45 dias



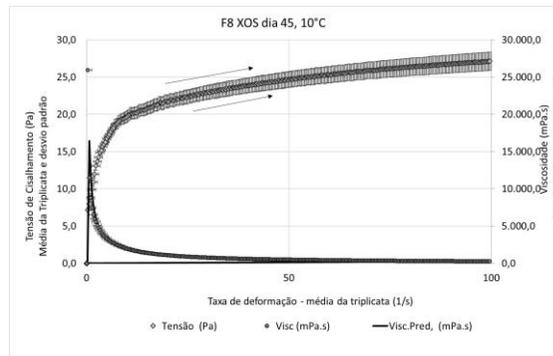
(e) XOS F05 45 dias



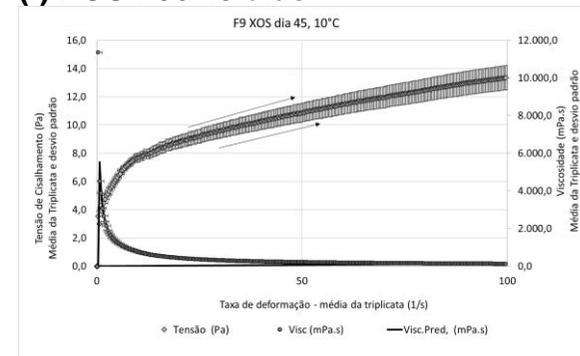
(f) XOS F06 45 dias



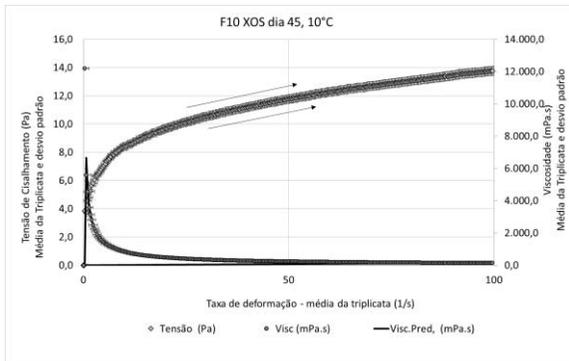
(g) XOS F07 45 dias



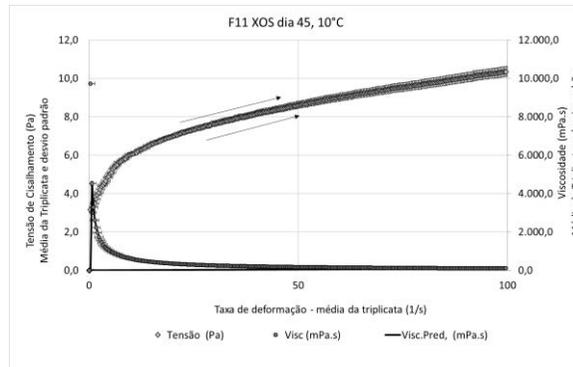
(h) XOS F08 45 dias



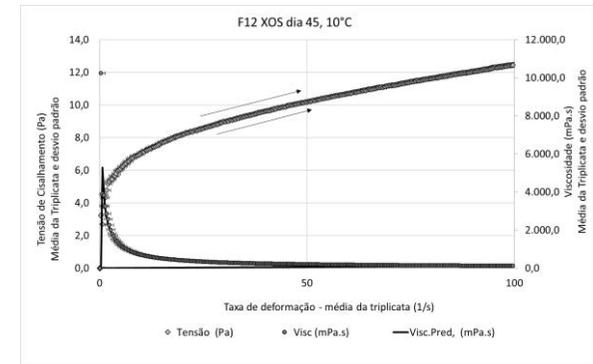
(i) XOS F09 45 dias



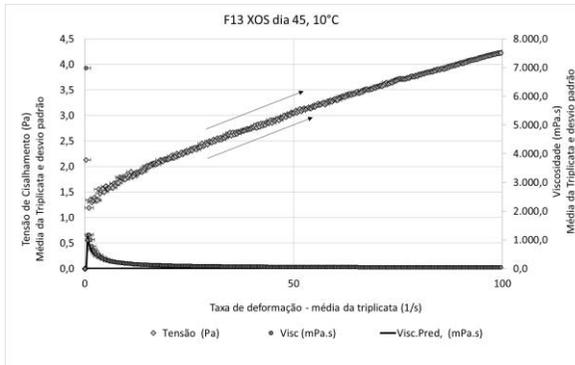
(j) XOS F10 45 dias



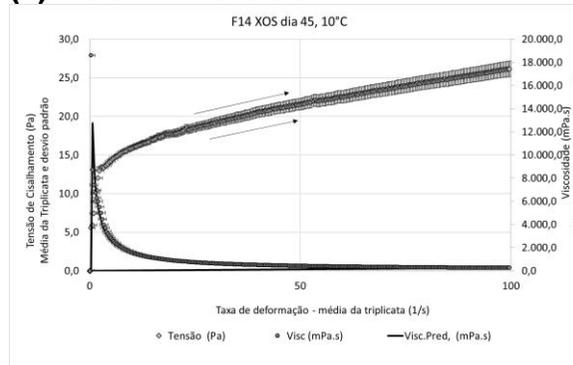
(k) XOS F11 45 dias



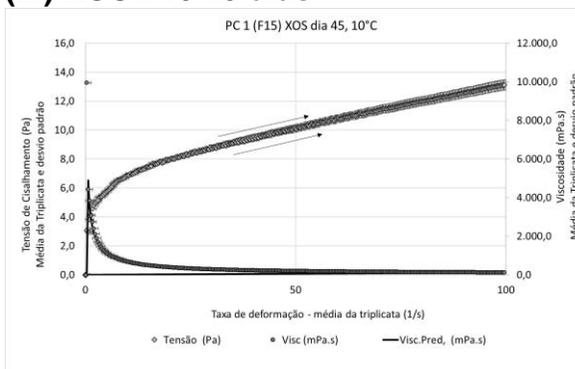
(l) XOS F12 45 dias



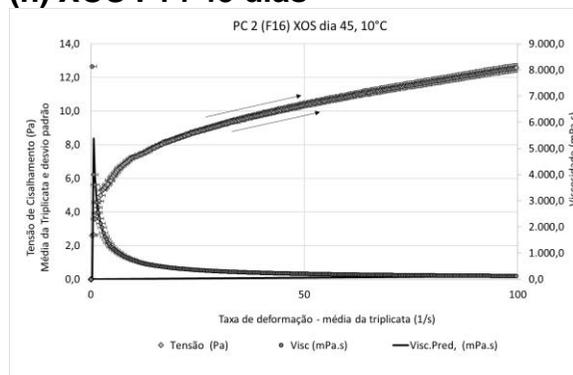
(m) XOS F13 45 dias



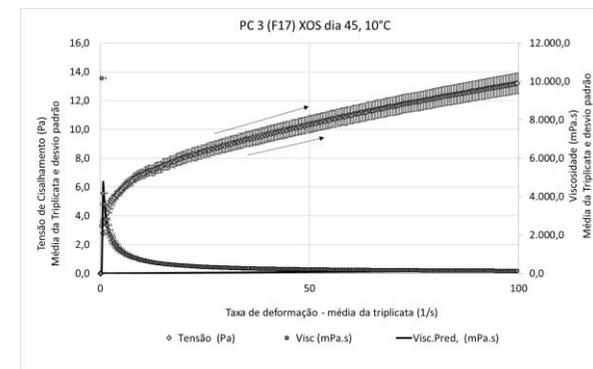
(n) XOS F14 45 dias



(o) XOS PC01 45 dias



(p) XOS PC02 45 dias



(q) XOS PC03 45 dias

Figura 63. Comportamento reológico – Amostras com fibra prebiótica XOS 45 dias após formulação à 10°C - Ajuste ao Modelo de Lei da Potência.

8.2 PLANEJAMENTO DA FORMULAÇÃO COM IMO

8.2.1 Gráficos estatísticos - Análise de pH

A seguir estão apresentados os diagramas de Pareto, gráficos dos valores experimentais versus previstos e tabelas ANOVA para os resultados experimentais dos valores de pH do planejamento da bebida láctea utilizando o **Isomalto oligossacarídeos (IMO)**. Os resultados destes gráficos estão discutidos no resumo dessa dissertação que estão na **tabela 13** no item **5.2.2**.

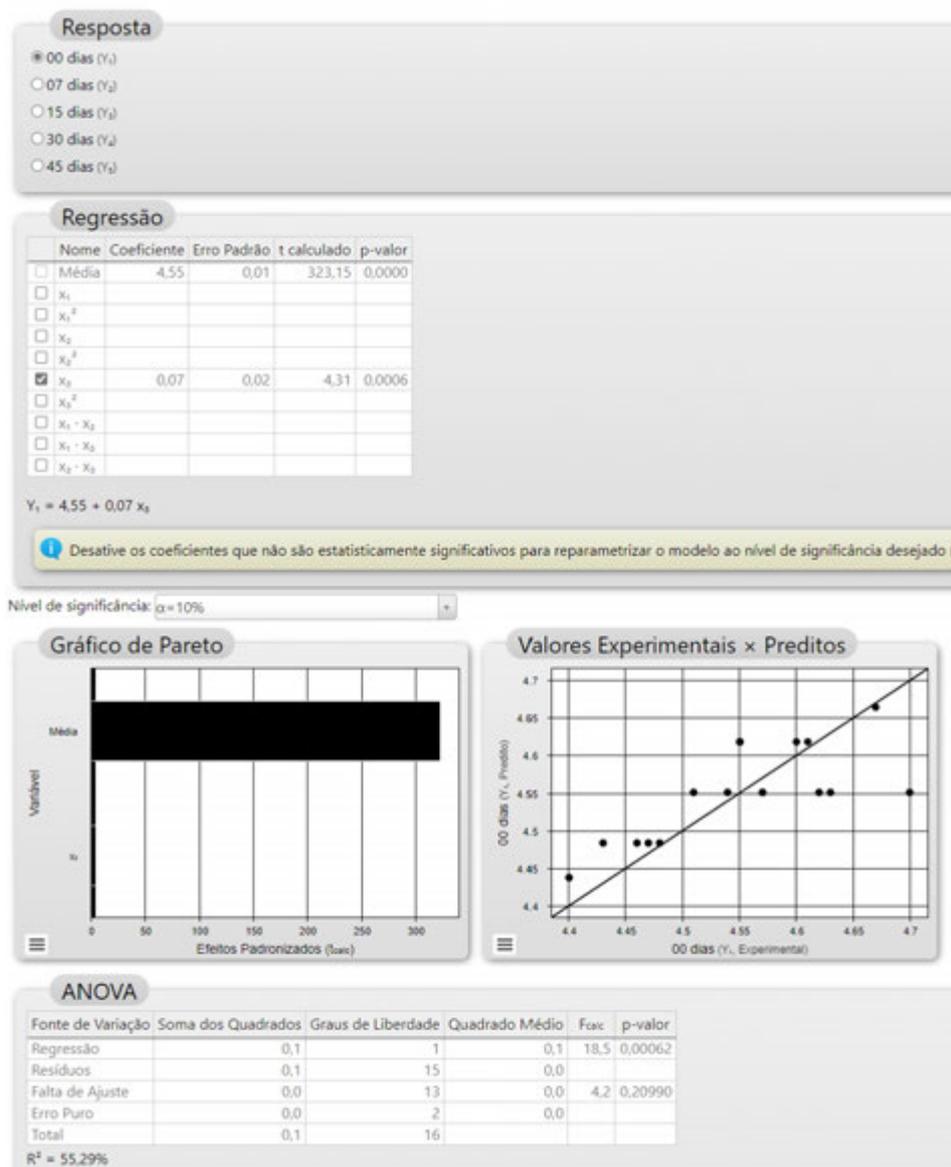


Figura 64. Análise estatística da resposta de pH após 0 dias de armazenamento nas formulações com a fibra prebiótica IMO (Fonte: Protimiza, 2022).

Resposta

00 dias (Y_1)
 07 dias (Y_2)
 15 dias (Y_3)
 30 dias (Y_4)
 45 dias (Y_5)

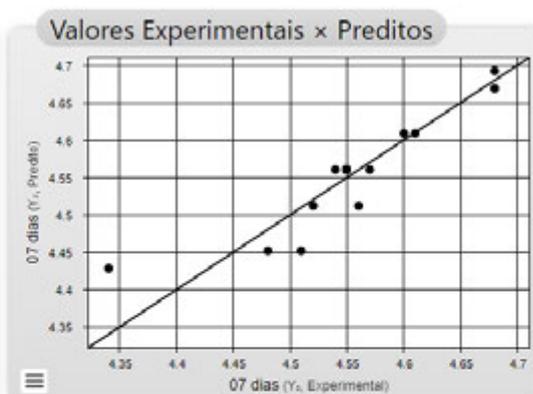
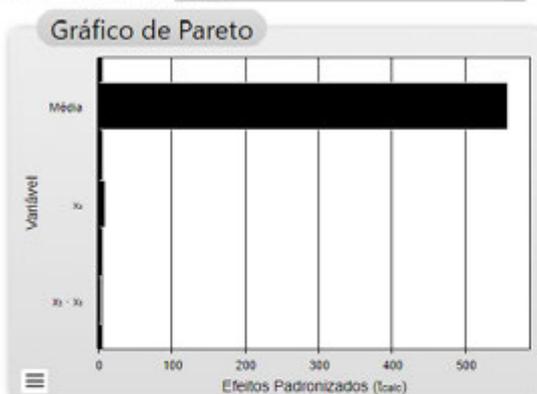
Regressão

Nome	Coefficiente	Erro Padrão	t calculado	p-valor
<input type="checkbox"/> Média	4,56	0,01	558,20	0,0000
<input type="checkbox"/> X_1				
<input type="checkbox"/> X_1^2				
<input type="checkbox"/> X_2				
<input type="checkbox"/> X_2^2				
<input checked="" type="checkbox"/> X_3	0,08	0,01	8,61	0,0000
<input type="checkbox"/> X_3^2				
<input type="checkbox"/> $X_1 \cdot X_2$				
<input type="checkbox"/> $X_1 \cdot X_3$				
<input checked="" type="checkbox"/> $X_2 \cdot X_3$	-0,03	0,01	-2,52	0,0245

$Y_2 = 4,56 + 0,08 X_3 - 0,03 X_2 X_3$

i Desative os coeficientes que não são estatisticamente significativos para reparametrizar o modelo ao nível de significância desejado (10%)

Nível de significância: $\alpha = 10\%$



ANOVA

Fonte de Variação	Soma dos Quadrados	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	F_{calc}	p-valor
Regressão	0,1	2	0,0	40,2	0,00000
Resíduos	0,0	14	0,0		
Falta de Ajuste	0,0	12	0,0	39,5	0,02492
Erro Puro	0,0	2	0,0		
Total	0,1	16			

$R^2 = 85,18\%$

Figura 65. Análise estatística da resposta de pH após 7 dias de armazenamento nas formulações com a fibra prebiótica IMO (Fonte: Protimiza, 2022).

Resposta

- 00 dias (Y_1)
- 07 dias (Y_2)
- 15 dias (Y_3)
- 30 dias (Y_4)
- 45 dias (Y_5)

Regressão

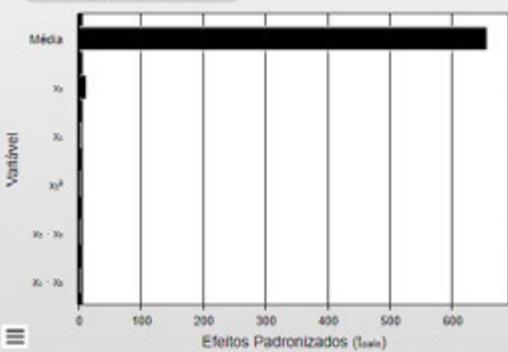
Nome	Coefficiente	Erro Padrão	t calculado	p-valor
<input type="checkbox"/> Média	4,50	0,01	657,03	0,0000
<input checked="" type="checkbox"/> X_1	0,02	0,01	2,95	0,0133
<input type="checkbox"/> X_1^2				
<input type="checkbox"/> X_2				
<input checked="" type="checkbox"/> X_2^2	0,02	0,01	2,66	0,0222
<input checked="" type="checkbox"/> X_3	0,07	0,01	13,04	0,0000
<input type="checkbox"/> X_3^2				
<input type="checkbox"/> $X_1 \cdot X_2$				
<input checked="" type="checkbox"/> $X_1 \cdot X_3$	-0,01	0,01	-1,87	0,0887
<input checked="" type="checkbox"/> $X_2 \cdot X_3$	-0,02	0,01	-2,55	0,0272

$$Y_3 = 4,50 + 0,02 X_1 + 0,02 X_2^2 + 0,07 X_3 - 0,01 X_1 X_3 - 0,02 X_2 X_3$$

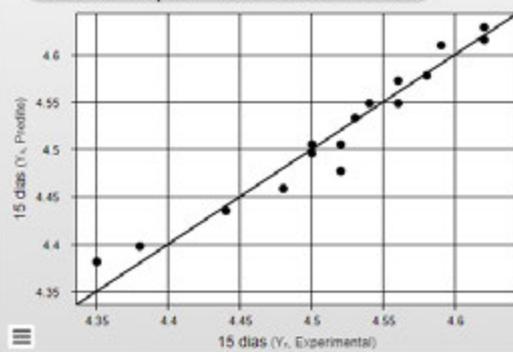
i Desative os coeficientes que não são estatisticamente significativos para reparametrizar o modelo ao nível de significância desejado (

Nível de significância: $\alpha = 10\%$

Gráfico de Pareto



Valores Experimentais × Preditos



ANOVA

Fonte de Variação	Soma dos Quadrados	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	F _{calc}	p-valor
Regressão	0,1	5	0,0	39,2	0,00000
Resíduos	0,0	11	0,0		
Falta de Ajuste	0,0	9	0,0	3,8	0,22800
Erro Puro	0,0	2	0,0		
Total	0,1	16			

$R^2 = 94,68\%$

Figura 66. Análise estatística da resposta de pH após 15 dias de armazenamento nas formulações com a fibra prebiótica IMO (Fonte: Protimiza, 2022).

Resposta

- 00 dias (Y_1)
- 07 dias (Y_2)
- 15 dias (Y_3)
- 30 dias (Y_4)
- 45 dias (Y_5)

Regressão

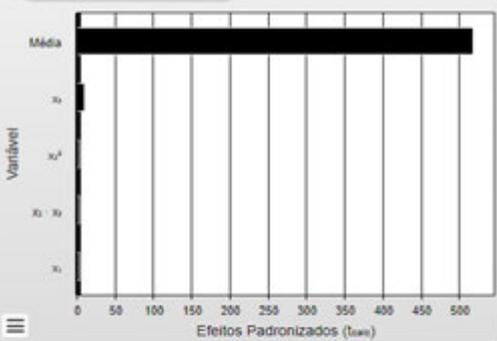
Nome	Coefficiente	Erro Padrão	t calculado	p-valor
<input type="checkbox"/> Média	4,53	0,01	518,49	0,0000
<input checked="" type="checkbox"/> x_1	0,02	0,01	2,21	0,0474
<input type="checkbox"/> x_1^2				
<input type="checkbox"/> x_2				
<input checked="" type="checkbox"/> x_2^2	0,02	0,01	3,20	0,0076
<input checked="" type="checkbox"/> x_3	0,07	0,01	10,33	0,0000
<input type="checkbox"/> x_3^2				
<input type="checkbox"/> $x_1 \cdot x_2$				
<input type="checkbox"/> $x_1 \cdot x_3$				
<input checked="" type="checkbox"/> $x_2 \cdot x_3$	-0,03	0,01	-2,93	0,0126

$$Y_4 = 4,53 + 0,02 x_1 + 0,02 x_2^2 + 0,07 x_3 - 0,03 x_2 x_3$$

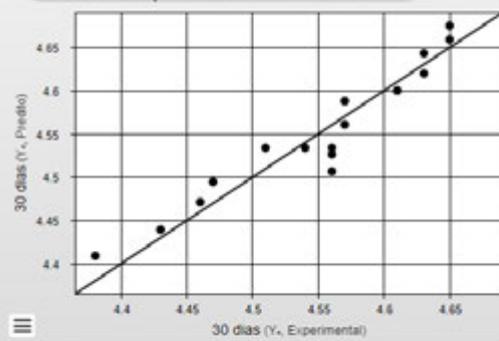
Desative os coeficientes que não são estatisticamente significativos para reparametrizar o modelo ao nível de significância desejado (

Nível de significância: $\alpha = 10\%$

Gráfico de Pareto



Valores Experimentais × Preditos



ANOVA

Fonte de Variação	Soma dos Quadrados	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	Fcalc	p-valor
Regressão	0,1	4	0,0	32,6	0,00000
Resíduos	0,0	12	0,0		
Falta de Ajuste	0,0	10	0,0	1,1	0,55528
Erro Puro	0,0	2	0,0		
Total	0,1	16			

$R^2 = 91,58\%$

Figura 67. Análise estatística da resposta de pH após 30 dias de armazenamento nas formulações com a fibra prebiótica IMO (Fonte: Protimiza, 2022).

Resposta

- 00 dias (Y_0)
- 07 dias (Y_1)
- 15 dias (Y_2)
- 30 dias (Y_3)
- 45 dias (Y_4)

Regressão

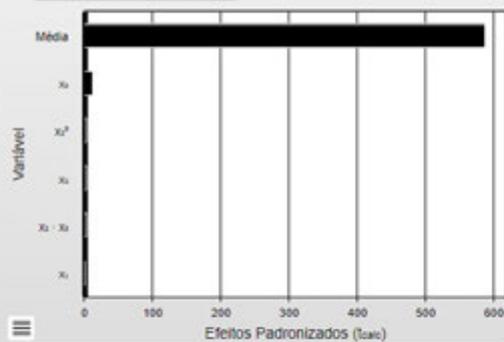
Nome	Coefficiente	Erro Padrão	t calculado	p-valor
<input type="checkbox"/> Média	4,55	0,01	588,67	0,0000
<input checked="" type="checkbox"/> x_1	0,01	0,01	2,23	0,0476
<input type="checkbox"/> x_1^2				
<input checked="" type="checkbox"/> x_2	0,02	0,01	2,51	0,0292
<input checked="" type="checkbox"/> x_2^2	0,02	0,01	2,54	0,0276
<input checked="" type="checkbox"/> x_3	0,08	0,01	12,95	0,0000
<input type="checkbox"/> x_3^2				
<input type="checkbox"/> $x_1 \cdot x_2$				
<input type="checkbox"/> $x_1 \cdot x_3$				
<input checked="" type="checkbox"/> $x_2 \cdot x_3$	-0,02	0,01	-2,41	0,0348

$$Y_4 = 4,55 + 0,01 x_1 + 0,02 x_2 + 0,02 x_2^2 + 0,08 x_3 - 0,02 x_2 x_3$$

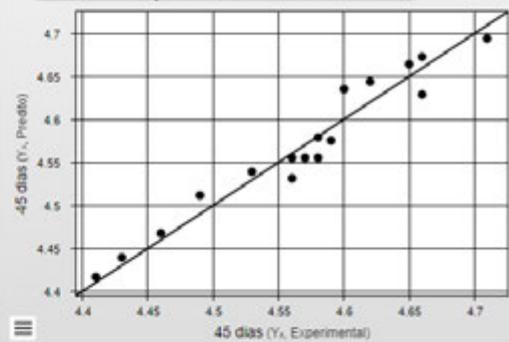
i Desative os coeficientes que não são estatisticamente significativos para reparametrizar o modelo ao nível de significância desejado (Des

Nível de significância: $\alpha = 10\%$

Gráfico de Pareto



Valores Experimentais x Preditos



ANOVA

Fonte de Variação	Soma dos Quadrados	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	F _{calc}	p-valor
Regressão	0,1	5	0,0	38,2	0,00000
Resíduos	0,0	11	0,0		
Falta de Ajuste	0,0	9	0,0	6,5	0,13978
Erro Puro	0,0	2	0,0		
Total	0,1	16			

$R^2 = 94,56\%$

Figura 68. Análise estatística da resposta de pH após 45 dias de armazenamento nas formulações com a fibra prebiótica IMO (Fonte: Protimiza, 2022).

8.2.2 Gráficos estatísticos e Fotos - Análise de Sinérese

A seguir estão apresentados os registros (fotos) realizados para leitura das avaliações da sinérese das formulações com fibra prebiótica **Isomalto oligossacarídeos (IMO)** aos 7 após o armazenamento em câmara fria com temperatura em 4°C. Os diagramas de Pareto, gráficos dos valores experimentais versus previstos, tabelas ANOVA e as superfícies geradas pelo software Protimiza Experimental Design destes registros estão apresentados e discutidos na dissertação no item **5.2.2**.



(a) Amostra s/ probiótico no dia 07.



(b) F1 IMO no dia 07.



(c) F2 IMO no dia 07.



(d) F3 IMO no dia 07.



(e) F4 IMO no dia 07.



(f) F5 IMO no dia 07.



(g) F6 IMO no dia 07.



(h) F7 IMO no dia 07.



(i) F8 IMO no dia 07.



(j) F9 IMO no dia 07.



(k) F10 IMO no dia 07.



(l) F11 IMO no dia 07.



(m) F12 IMO no dia 07.



(n) F13 IMO no dia 07.



(o) F14 IMO no dia 07.



(p) PC01 IMO no dia 07.



(q) PC02 IMO no dia 07



(r) PC03 IMO no dia 07

Figura 69. Imagens das provetas para registro da sinérese aos 7 dias de vida de prateleira das formulações com IMO.

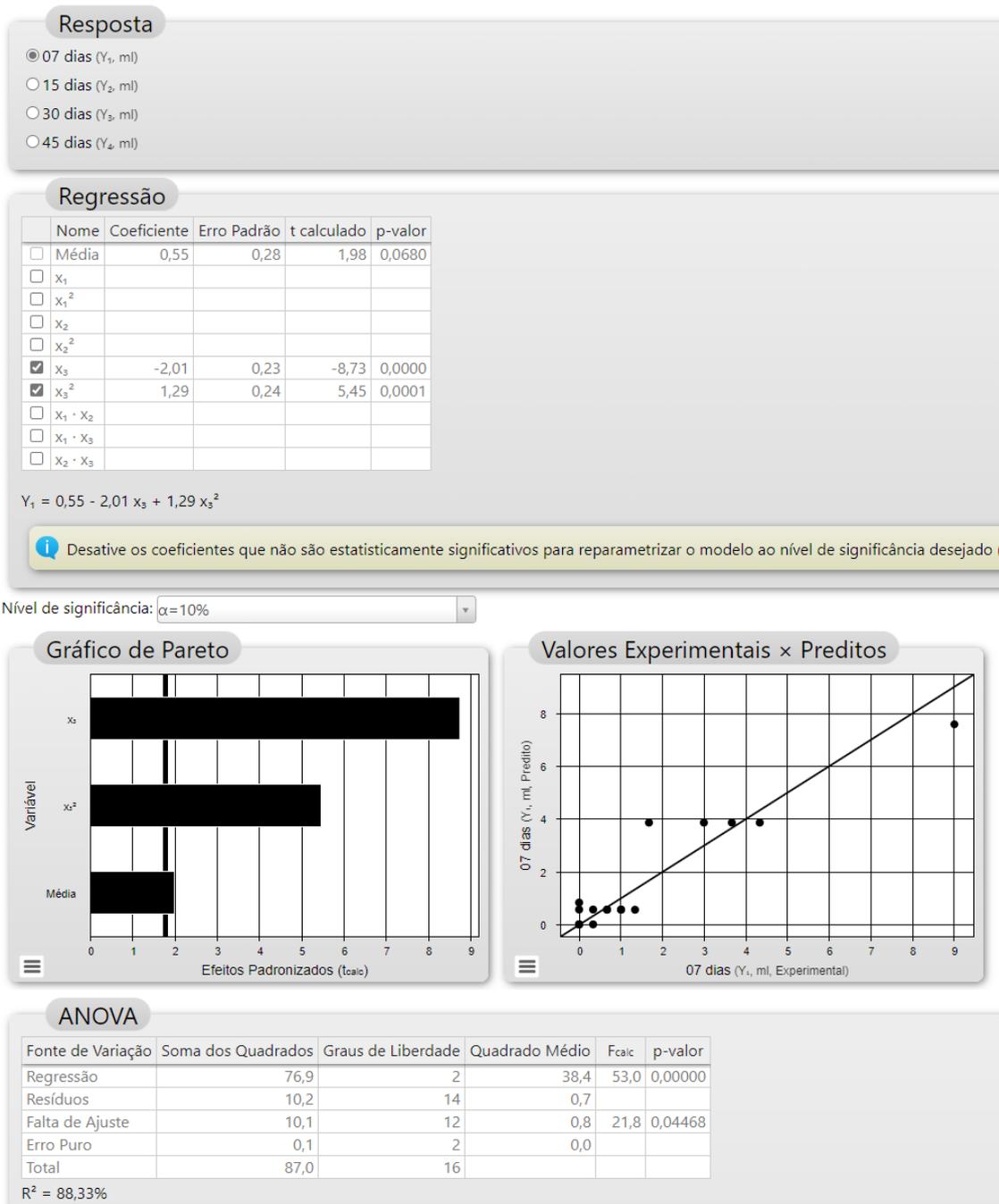


Figura 70. Análise estatística da resposta sinérese após 7 dias de armazenamento nas formulações com a fibra prebiótica IMO (Fonte: Protimiza, 2022).

Na **tabela 31** estão os valores lidos de sinérese de cada proveta referente às repetições das formulações das bebidas lácteas com fibra prebiótica IMO realizadas no dia **07 após o preparo**, com os valores médios em mililitros (ml) e em porcentagem, levando em consideração o volume total de cada proveta e a separação de soro visível na data da coleta. Na **figura 71** está o gráfico dos valores de cada replica e do valor

médio de todas as formulações com fibra prebiótica IMO após 07 dias de armazenamento a 4°C.

Tabela 31. Valores de Sinérese para fibra prebiótica IMO com 07 dias de armazenamento a 4°C.

Formulações	Dia 07						Valor médio em ml Y1 (07 dias)
	Fibra Prebiótica IMO						
	X1	X2	X3	R1	R2	R3	
F0 (s/ prebiótico)	ñ	0	0	0	0	1	0,33
F1	-1	-1	-1	5	4	4	4,33
F2	1	-1	-1	3	3	3	3,00
F3	-1	1	-1	2	2	1	1,67
F4	1	1	-1	4	3	4	3,67
F5	-1	-1	1	0	1	0	0,33
F6	1	-1	1	0	0	0	0,00
F7	-1	1	1	0	0	0	0,00
F8	1	1	1	0	0	0	0,00
F9	-1,68	0	0	1	1	1	1,00
F10	1,68	0	0	1	1	1	1,00
F11	0	-1,68	0	1	2	1	1,33
F12	0	1,68	0	0	0	0	0,00
F13	0	0	-1,68	9	9	9	9,00
F14	0	0	1,68	0	0	0	0,00
PC01 (F15)	0	0	0	0	1	1	0,67
PC02 (F16)	0	0	0	0	1	0	0,33
PC03 (F17)	0	0	0	0	0	1	0,33

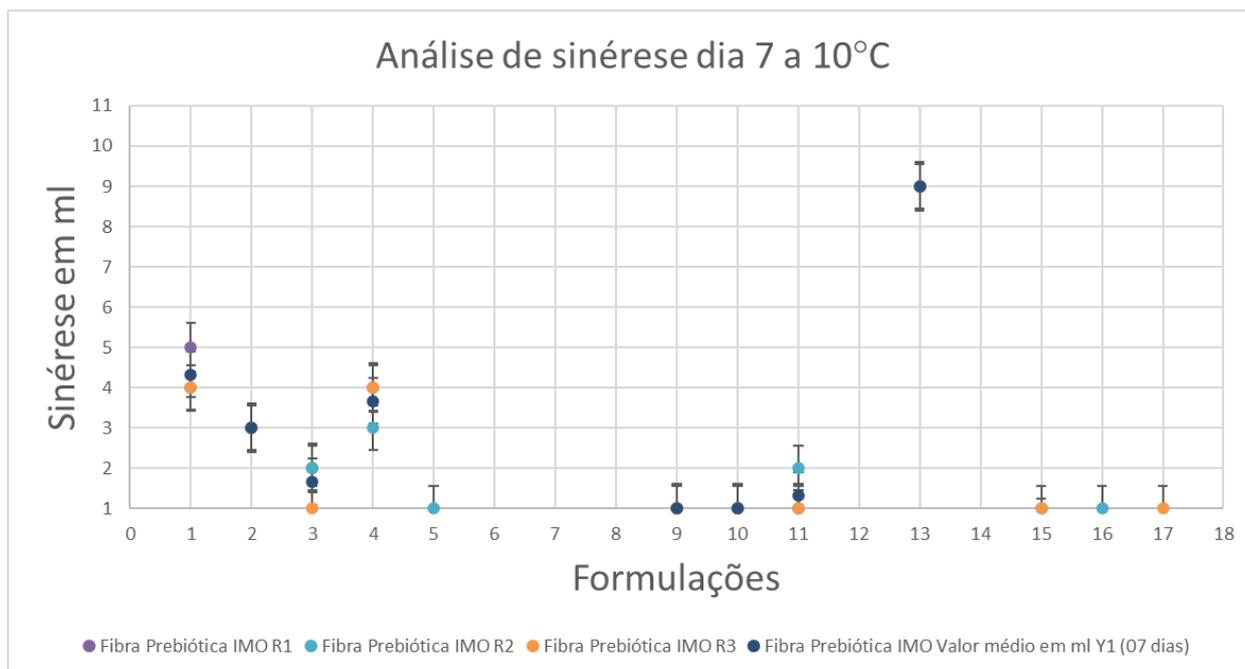


Figura 71. Gráfico com os valores de sinérese das formulações de bebida láctea com fibra prebiótica IMO analisadas após 07 dias de armazenamento a 4°C.

A seguir estão apresentados para as formulações com **Isomalto oligossacarídeos (IMO)** após **15, 30 e 45 dias de preparo**: os registros (fotos) realizados para leitura da sinérese; as tabelas com os valores lidos de cada proveta e respectivas médias, os gráficos desses valores, os diagramas de Pareto, gráficos dos valores experimentais versus previstos, tabelas ANOVA e as superfícies geradas no software Protimiza Experimental Design. O resumo desses resultados está na **tabela 16** da dissertação no item **5.2.2**.



(a) Amostra s/ probiótico no dia 15.



(b) F1 IMO no dia 15.



(c) F2 IMO no dia 15.



(d) F3 IMO no dia 15.



(e) F4 IMO no dia 15.



(f) F5 IMO no dia 15.



(g) F6 IMO no dia 15.



(h) F7 IMO no dia 15.



(i) F8 IMO no dia 15.



(j) F9 IMO no dia 15.



(k) F10 IMO no dia 15.



(l) F11 IMO no dia 15.



(m) F12 IMO no dia 15.



(n) F13 IMO no dia 15.



(o) F14 IMO no dia 15.



(p) PC01 IMO no dia 15.



(q) PC02 IMO no dia 15



(r) PC03 IMO no dia 15

Figura 72. Imagens das provetas para registro da sinérese aos 15 dias de vida de prateleira das formulações com IMO.

Tabela 32. Valores de Sinérese para fibra prebiótica IMO após 15 dias de armazenamento a 4°C.

Dia 15							Valor médio em ml Y2 (15 dias)
Fibra Prebiótica IMO							
Formulações	X1	X2	X3	R1	R2	R3	
F0 (s/ prebiótico)	ñ	0	0	1	1	0	0,67
F1	-1	-1	-1	6	6	5	5,67
F2	1	-1	-1	4	5	4	4,33
F3	-1	1	-1	4	4	2	3,33
F4	1	1	-1	5	4	5	4,67
F5	-1	-1	1	1	1	1	1,00
F6	1	-1	1	0	0	0	0,00
F7	-1	1	1	0	0	0	0,00
F8	1	1	1	0	0	0	0,00
F9	-1,68	0	0	1	1	1	1,00
F10	1,68	0	0	1	1	1	1,00
F11	0	-1,68	0	1	2	1	1,33
F12	0	1,68	0	1	0	1	0,67
F13	0	0	-1,68	12	12	11	11,67
F14	0	0	1,68	0	0	0	0,00
PC01 (F15)	0	0	0	1	1	1	1,00
PC02 (F16)	0	0	0	1	1	1	1,00
PC03 (F17)	0	0	0	0	1	0	0,33

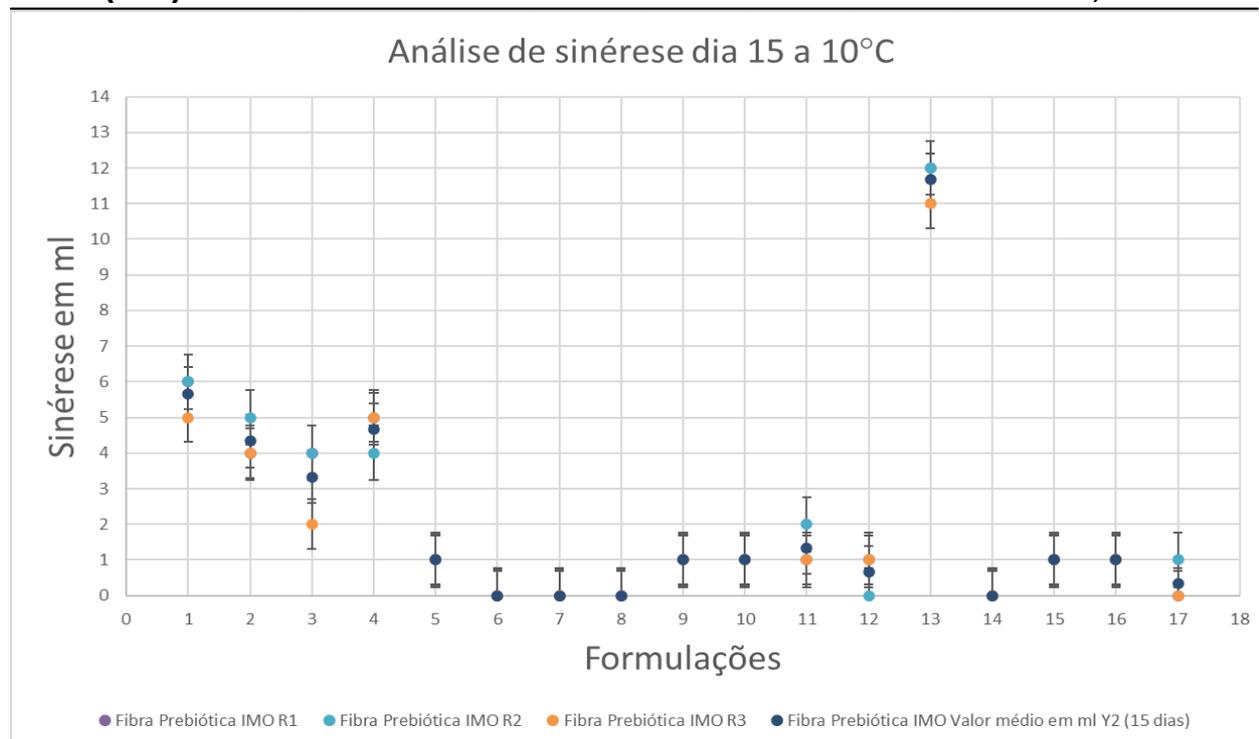


Figura 73. Gráfico com os valores de sinérese das formulações de bebida láctea com fibra prebiótica IMO analisadas após 15 dias de armazenamento a 4°C.

Resposta

07 dias (Y_1 , ml)
 15 dias (Y_2 , ml)
 30 dias (Y_3 , ml)
 45 dias (Y_4 , ml)

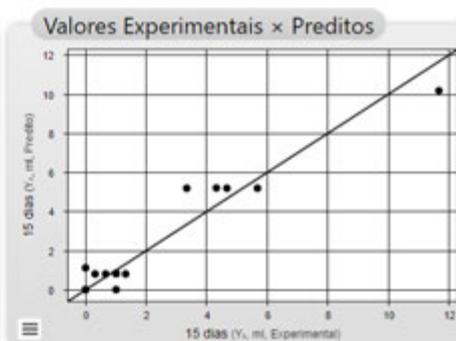
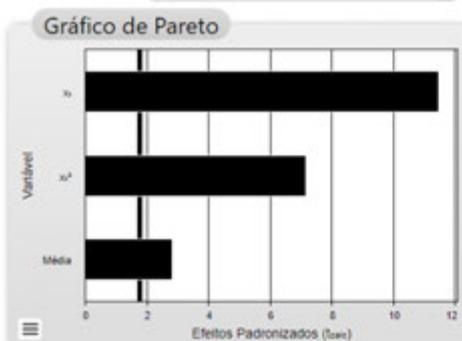
Regressão

Nome	Coefficiente	Erro Padrão	t calculado	p-valor
<input type="checkbox"/> Média	0,80	0,28	2,82	0,0135
<input type="checkbox"/> X_1				
<input type="checkbox"/> X_1^2				
<input type="checkbox"/> X_2				
<input type="checkbox"/> X_2^2				
<input checked="" type="checkbox"/> X_3	-2,68	0,23	-11,48	0,0000
<input checked="" type="checkbox"/> X_3^2	1,71	0,24	7,15	0,0000
<input type="checkbox"/> $X_1 \cdot X_2$				
<input type="checkbox"/> $X_1 \cdot X_3$				
<input type="checkbox"/> $X_2 \cdot X_3$				

$Y_2 = 0,80 - 2,68 X_3 + 1,71 X_3^2$

i Desative os coeficientes que não são estatisticamente significativos para reparametrizar o modelo ao nível de significância desejado

Nível de significância: $\alpha=10\%$



ANOVA

Fonte de Variação	Soma dos Quadrados	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	F _{calc}	p-valor
Regressão	136,3	2	68,2	91,4	0,00000
Resíduos	10,4	14	0,7		
Falta de Ajuste	10,1	12	0,8	5,6	0,16014
Erro Puro	0,3	2	0,1		
Total	146,8	16			

$R^2 = 92,89\%$

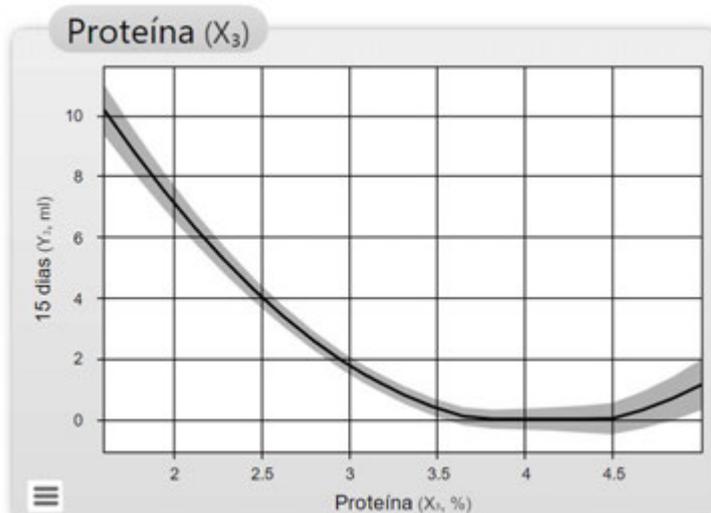


Figura 74. Análise estatística da resposta sinérese após 15 dias de armazenamento nas formulações com a fibra prebiótica IMO (Fonte: Protimiza, 2022).



(a) Amostra sem probiótico no dia 30.



(b) F1 IMO no dia 30.



(c) F2 IMO no dia 30.



(d) F3 IMO no dia 30.



(e) F4 IMO no dia 30.



(f) F5 IMO no dia 30.



(g) F6 IMO no dia 30.



(h) F7 IMO no dia 30.



(i) F8 IMO no dia 30.



(j) F9 IMO no dia 30.



(k) F10 IMO no dia 30.



(l) F11 IMO no dia 30.



(m) F12 IMO no dia 30.



(n) F13 IMO no dia 30.



(o) F14 IMO no dia 30.



(p) PC01 IMO no dia 30.



(q) PC02 IMO no dia 30



(r) PC03 IMO no dia 30

Figura 75. Imagens das provetas para registro da sinérese aos 30 dias de vida de prateleira das formulações com IMO.

Tabela 33. Valores de Sinérese para fibra prebiótica IMO com 30 dias de armazenamento a 4°C.

Formulações	Dia 30 Fibra Prebiótica IMO						Valor médio em ml Y3 (30 dias)
	X1	X2	X3	R1	R2	R3	
F0 (s/ prebiótico)	ñ	0	0	2	1	1	1,33
F1	-1	-1	-1	7	7	6	6,67
F2	1	-1	-1	5	5	6	5,33
F3	-1	1	-1	5	5	4	4,67
F4	1	1	-1	6	6	6	6,00
F5	-1	-1	1	1	1	1	1,00
F6	1	-1	1	0	1	0	0,33
F7	-1	1	1	0	0	0	0,00
F8	1	1	1	0	0	0	0,00
F9	-1,68	0	0	1	2	2	1,67
F10	1,68	0	0	1	1	1	1,00
F11	0	-1,68	0	2	3	2	2,33
F12	0	1,68	0	2	1	2	1,67
F13	0	0	-1,68	13	12	12	12,33
F14	0	0	1,68	0	0	0	0,00
PC01 (F15)	0	0	0	1	1	1	1,00
PC02 (F16)	0	0	0	2	2	2	2,00
PC03 (F17)	0	0	0	1	2	1	1,33

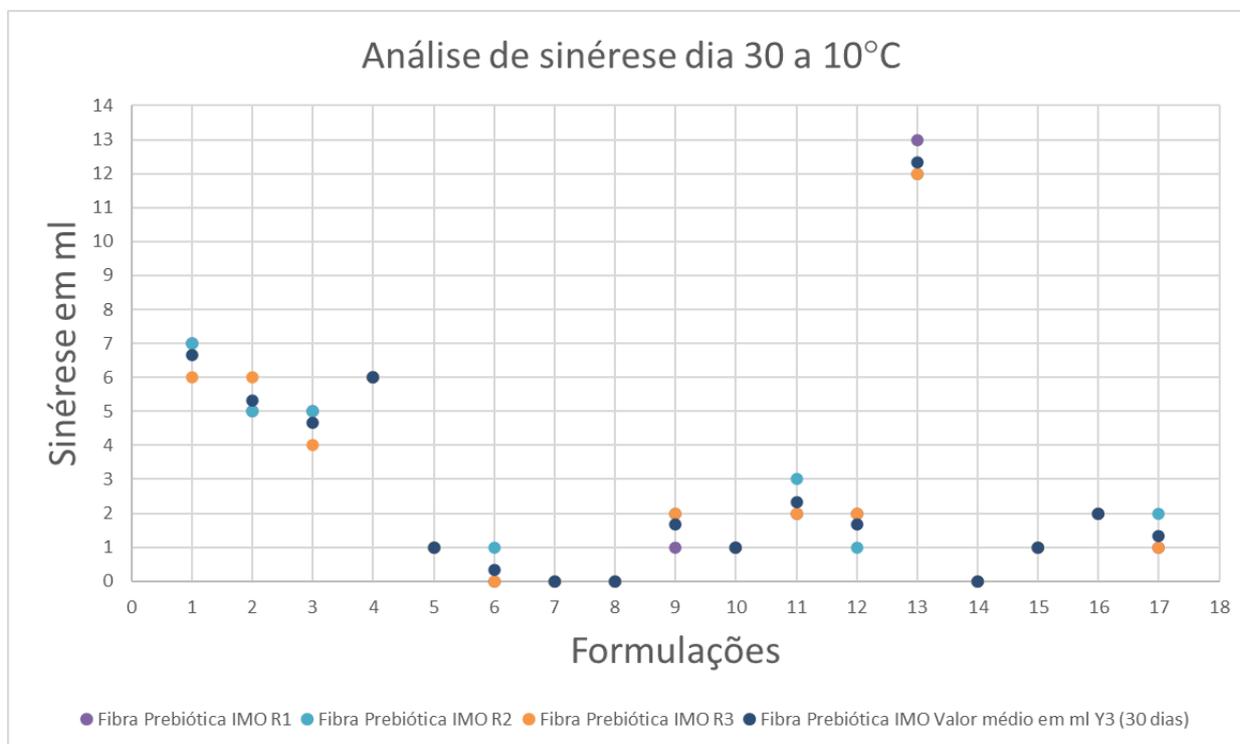


Figura 76. Gráfico com os valores de sinérese das formulações de bebida láctea com fibra prebiótica IMO analisadas após 30 dias de armazenamento a 4°C.

Resposta

- 07 dias (Y_1 , ml)
- 15 dias (Y_2 , ml)
- 30 dias (Y_3 , ml)
- 45 dias (Y_4 , ml)

Regressão

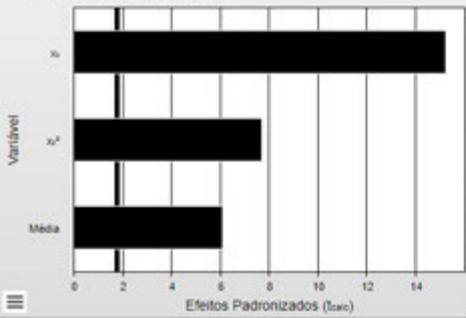
Nome	Coefficiente	Erro Padrão	t calculado	p-valor
<input type="checkbox"/> Média	1,50	0,25	6,08	0,0000
<input type="checkbox"/> X_1				
<input type="checkbox"/> X_1^2				
<input type="checkbox"/> X_2				
<input type="checkbox"/> X_2^2				
<input checked="" type="checkbox"/> X_3	-3,08	0,20	-15,22	0,0000
<input checked="" type="checkbox"/> X_3^2	1,60	0,21	7,72	0,0000
<input type="checkbox"/> $X_1 \cdot X_2$				
<input type="checkbox"/> $X_1 \cdot X_3$				
<input type="checkbox"/> $X_2 \cdot X_3$				

$$Y_3 = 1,50 - 3,08 X_3 + 1,60 X_3^2$$

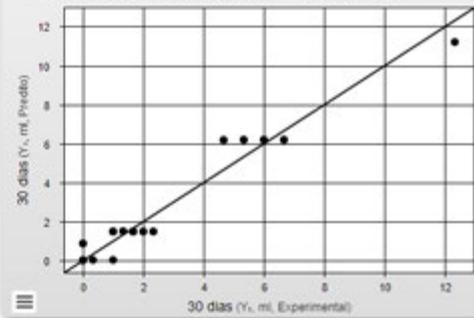
Desative os coeficientes que não são estatisticamente significativos para reparametrizar o modelo ao nível de significância desejado

Nível de significância: $\alpha = 10\%$

Gráfico de Pareto



Valores Experimentais x Preditos



ANOVA

Fonte de Variação	Soma dos Quadrados	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	F _{calc}	p-valor
Regressão	163,0	2	81,5	145,6	0,00000
Resíduos	7,8	14	0,6		
Falta de Ajuste	7,3	12	0,6	2,3	0,33721
Erro Puro	0,5	2	0,3		
Total	170,8	16			

$R^2 = 95,41\%$

Proteína (X_3)

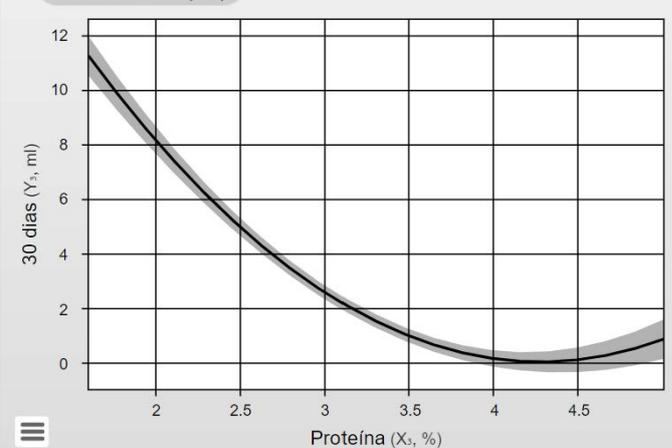


Figura 77. Análise estatística da resposta sinérese após 30 dias de armazenamento nas formulações com a fibra prebiótica IMO (Fonte: Protimiza, 2022).



(a) Amostra s/ probiótico no dia 45.



(b) F1 IMO no dia 45.



(c) F2 IMO no dia 45.



(d) F3 IMO no dia 45.



(e) F4 IMO no dia 45.



(f) F5 IMO no dia 45.



(g) F6 IMO no dia 45.



(h) F7 IMO no dia 45.



(i) F8 IMO no dia 45.



(j) F9 IMO no dia 45.



(k) F10 IMO no dia 45.



(l) F11 IMO no dia 45.



(m) F12 IMO no dia 45.



(n) F13 IMO no dia 45.



(o) F14 IMO no dia 45.



(p) PC01 IMO no dia 45.



(q) PC02 IMO no dia 45



(r) PC03 IMO no dia 45

Figura 78. Imagens das provetas para registro da sinérese aos 45 dias de vida de prateleira das formulações com XOS.

Tabela 34. Valores de Sinérese em para fibra prebiótica IMO com 45 dias de armazenamento a 4°C.

Formulações	Dia 45 Fibra Prebiótica IMO						Valor médio em ml Y4 (45 dias)
	X1	X2	X3	R1	R2	R3	
F0 (s/ prebiótico)	ñ	0	0	2	2	2	2,00
F1	-1	-1	-1	8	8	7	7,67
F2	1	-1	-1	6	7	7	6,67
F3	-1	1	-1	6	6	5	5,67
F4	1	1	-1	7	7	7	7,00
F5	-1	-1	1	1	1	1	1,00
F6	1	-1	1	1	1	1	1,00
F7	-1	1	1	0	0	0	0,00
F8	1	1	1	0	0	0	0,00
F9	-1,68	0	0	2	3	2	2,33
F10	1,68	0	0	1	1	1	1,00
F11	0	-1,68	0	3	4	3	3,33
F12	0	1,68	0	2	2	2	2,00
F13	0	0	-1,68	14	14	13	13,67
F14	0	0	1,68	0	0	0	0,00
PC01 (F15)	0	0	0	1	1	2	1,33
PC02 (F16)	0	0	0	2	2	2	2,00
PC03 (F17)	0	0	0	2	2	1	1,67

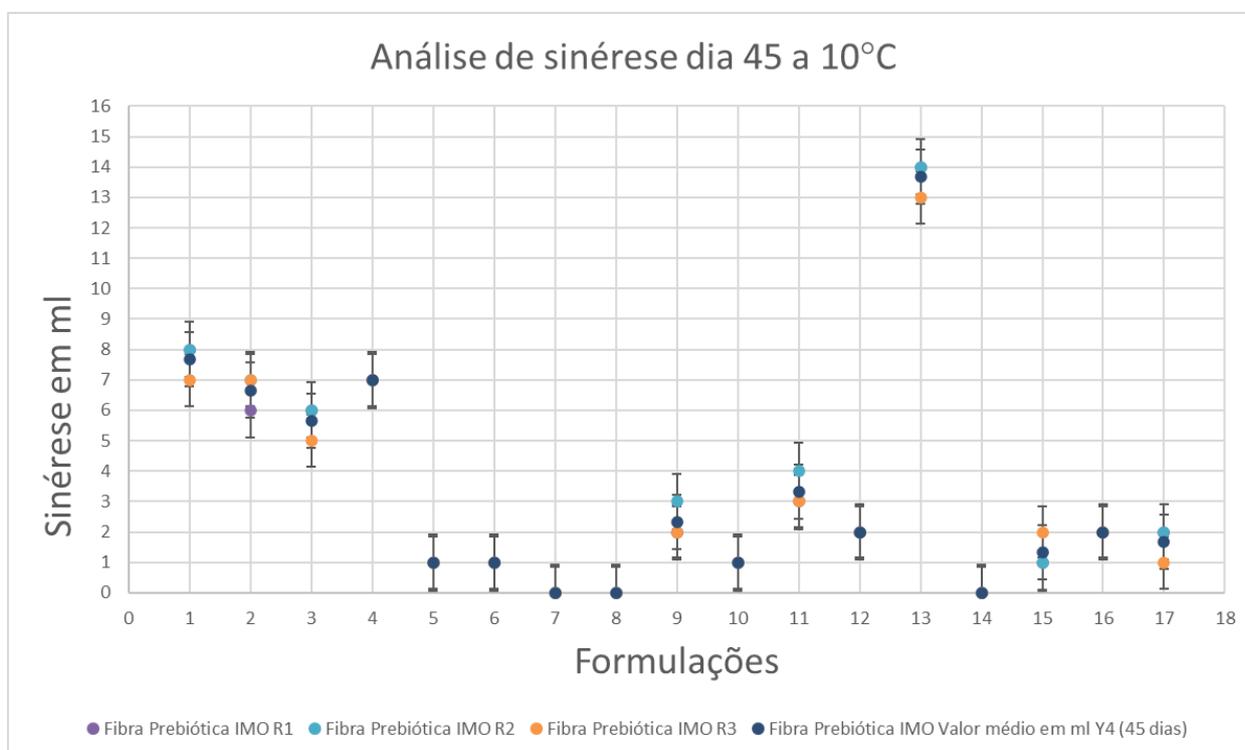


Figura 79. Gráfico com os valores de sinérese das formulações de bebida láctea com fibra prebiótica IMO analisadas após 45 dias de armazenamento a 4°C.

Resposta

- 07 dias (Y_1 , ml)
- 15 dias (Y_2 , ml)
- 30 dias (Y_3 , ml)
- 45 dias (Y_4 , ml)

Regressão

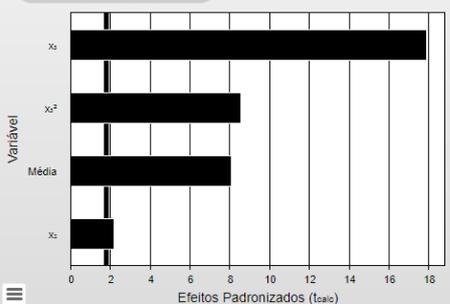
Nome	Coefficiente	Erro Padrão	t calculado	p-valor
<input type="checkbox"/> Média	1,93	0,24	8,07	0,0000
<input type="checkbox"/> X_1				
<input type="checkbox"/> X_1^2				
<input checked="" type="checkbox"/> X_2	-0,43	0,20	-2,20	0,0466
<input type="checkbox"/> X_2^2				
<input checked="" type="checkbox"/> X_3	-3,51	0,20	-17,87	0,0000
<input checked="" type="checkbox"/> X_3^2	1,72	0,20	8,54	0,0000
<input type="checkbox"/> $X_1 \cdot X_2$				
<input type="checkbox"/> $X_1 \cdot X_3$				
<input type="checkbox"/> $X_2 \cdot X_3$				

$$Y_4 = 1,93 - 0,43 X_2 - 3,51 X_3 + 1,72 X_3^2$$

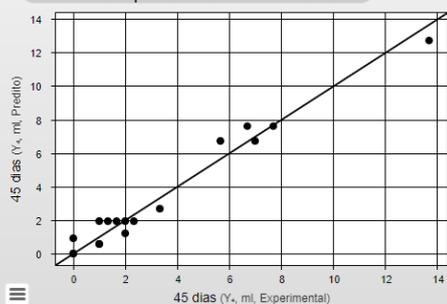
Desative os coeficientes que não são estatisticamente significativos para reparametrizar o modelo ao nível de significância desejado (D

Nível de significância: $\alpha=10\%$

Gráfico de Pareto



Valores Experimentais × Preditos

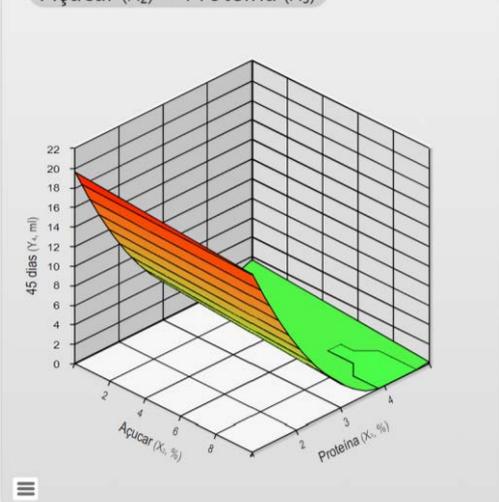


ANOVA

Fonte de Variação	Soma dos Quadrados	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	Fcalc	p-valor
Regressão	209,8	3	69,9	132,3	0,00000
Resíduos	6,9	13	0,5		
Falta de Ajuste	6,6	11	0,6	5,4	0,16695
Erro Puro	0,2	2	0,1		
Total	216,7	16			

$R^2 = 96,83\%$

Açúcar (X_2) × Proteína (X_3)



Açúcar (X_2) × Proteína (X_3)

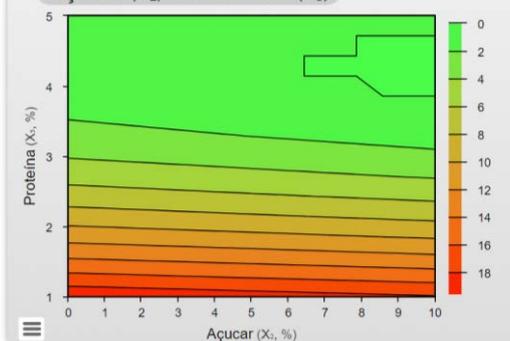
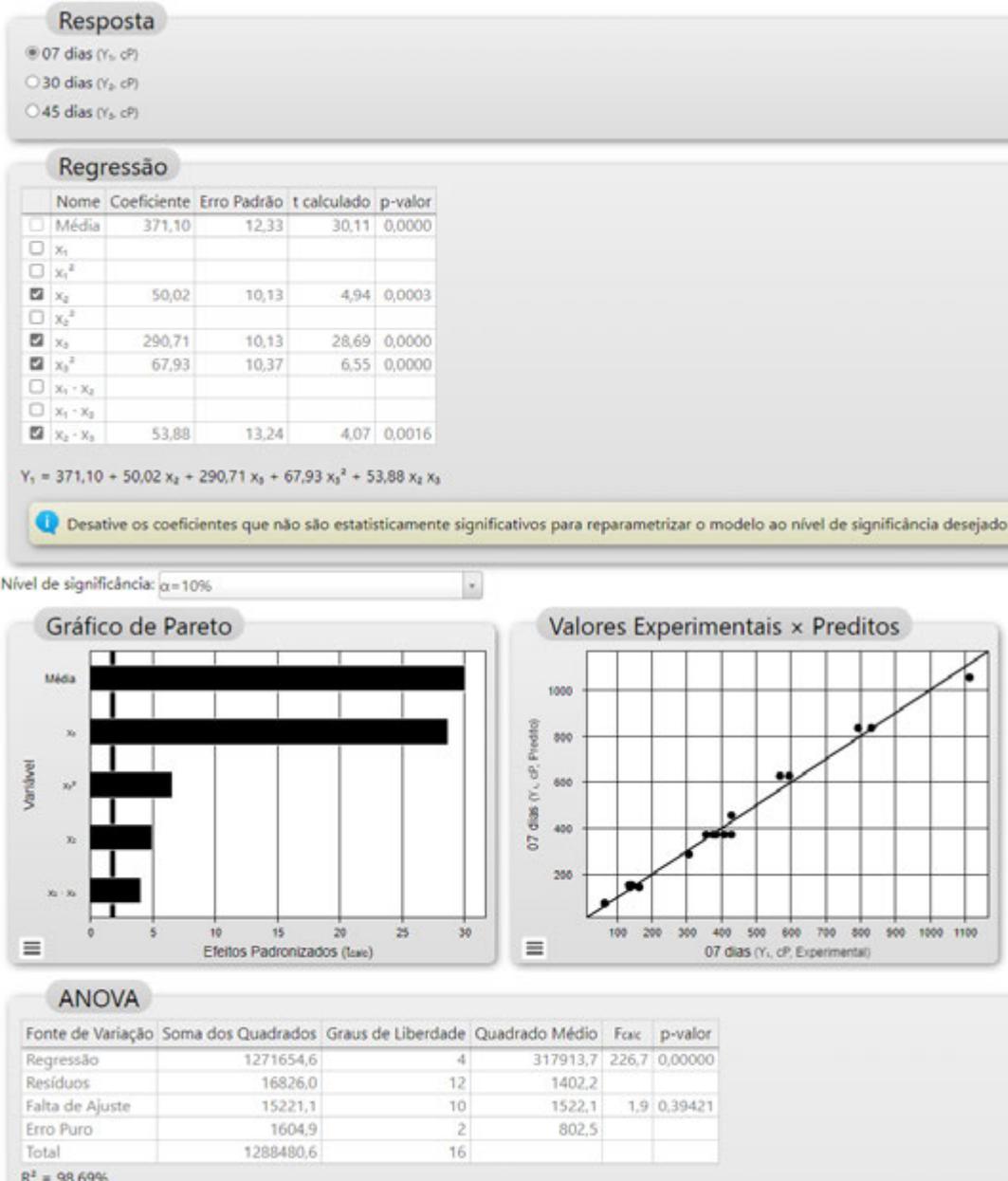


Figura 80. Análise estatística da resposta sinérese após 30 dias de armazenamento nas formulações com a fibra prebiótica IMO (Fonte: Protimiza, 2022).

8.2.3 Gráficos estatísticos - Análise de Viscosidade 50s⁻¹

A seguir estão apresentados os diagramas de Pareto, gráficos dos valores experimentais versus previstos e tabelas ANOVA para os resultados experimentais dos valores de viscosidade determinados na taxa de deformação de 50 s⁻¹ do planejamento da bebida láctea utilizando o **Isomalto oligossacarídeos (IMO)**. Os resultados destes gráficos estão discutidos na dissertação no item 5.2.3. As superfícies de resposta não foram geradas e apresentadas aqui pois, conforme resume a **Tabela 19**, de resultados, os modelos não foram preditivos.



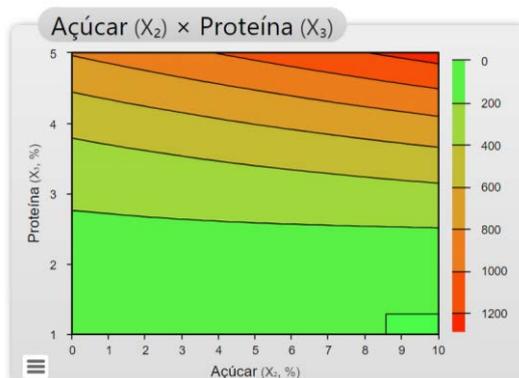
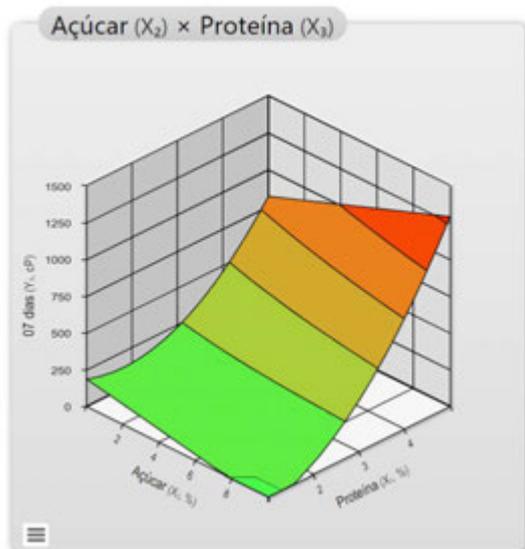


Figura 81. Análise estatística da resposta viscosidade a 50 s-1 após 7 dias de armazenamento nas formulações com a fibra prebiótica IMO (Fonte: Protimiza, 2022).

Resposta

- 07 dias (Y_1 , cP)
- 30 dias (Y_2 , cP)
- 45 dias (Y_3 , cP)

Regressão

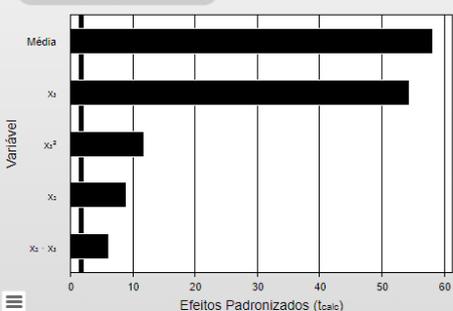
	Nome	Coefficiente	Erro Padrão	t calculado	p-valor
<input type="checkbox"/>	Média	400,22	6,87	58,23	0,0000
<input type="checkbox"/>	X_1				
<input type="checkbox"/>	X_1^2				
<input checked="" type="checkbox"/>	X_2	50,88	5,65	9,00	0,0000
<input type="checkbox"/>	X_2^2				
<input checked="" type="checkbox"/>	X_3	307,55	5,65	54,43	0,0000
<input checked="" type="checkbox"/>	X_3^2	68,00	5,78	11,76	0,0000
<input type="checkbox"/>	$X_1 \cdot X_2$				
<input type="checkbox"/>	$X_1 \cdot X_3$				
<input checked="" type="checkbox"/>	$X_2 \cdot X_3$	45,40	7,38	6,15	0,0000

$$Y_2 = 400,22 + 50,88 x_2 + 307,55 x_3 + 68 x_3^2 + 45,40 x_2 x_3$$

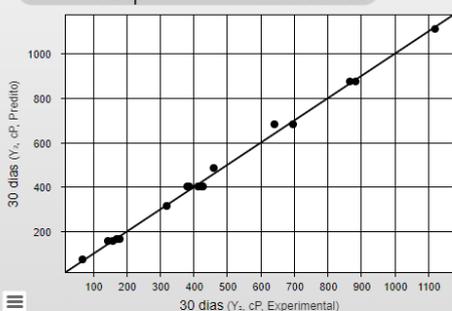
i Desative os coeficientes que não são estatisticamente significativos para reparametrizar o modelo ao nível de significância desejado (T

Nível de significância: $\alpha=10\%$

Gráfico de Pareto



Valores Experimentais x Preditos

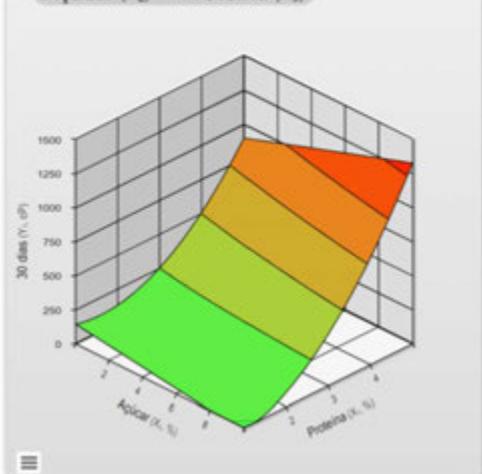


ANOVA

Fonte de Variação	Soma dos Quadrados	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	Fcalc	p-valor
Regressão	1403823,8	4	350956,0	805,0	0,00000
Resíduos	5231,5	12	436,0		
Falta de Ajuste	4363,4	10	436,3	1,0	0,59634
Erro Puro	868,0	2	434,0		
Total	1409055,3	16			

$R^2 = 99,63\%$

Açúcar (X_2) x Proteína (X_3)



Açúcar (X_2) x Proteína (X_3)

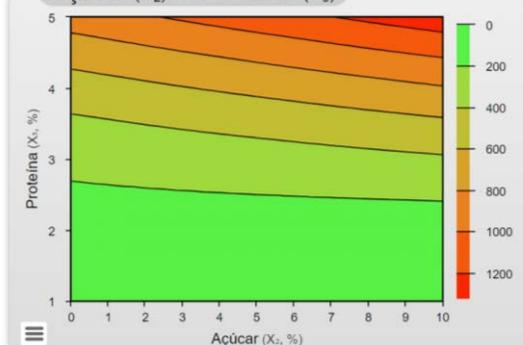


Figura 82. Análise estatística da resposta viscosidade a 50 s-1 após 30 dias de armazenamento nas formulações com a fibra prebiótica IMO (Fonte: Protimiza, 2022).

Resposta

- 07 dias (Y_1 , cP)
- 30 dias (Y_2 , cP)
- 45 dias (Y_3 , cP)

Regressão

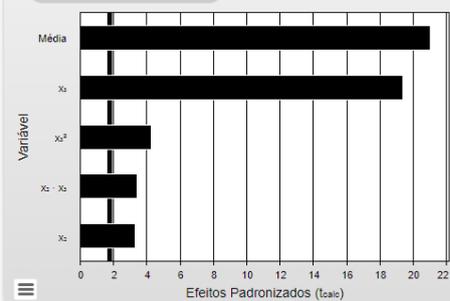
	Nome	Coefficiente	Erro Padrão	t calculado	p-valor
<input type="checkbox"/>	Média	387,88	18,42	21,05	0,0000
<input type="checkbox"/>	X_1				
<input type="checkbox"/>	X_1^2				
<input checked="" type="checkbox"/>	X_2	50,10	15,14	3,31	0,0062
<input type="checkbox"/>	X_2^2				
<input checked="" type="checkbox"/>	X_3	293,64	15,14	19,39	0,0000
<input checked="" type="checkbox"/>	X_3^2	65,92	15,50	4,25	0,0011
<input type="checkbox"/>	$X_1 \cdot X_2$				
<input type="checkbox"/>	$X_1 \cdot X_3$				
<input checked="" type="checkbox"/>	$X_2 \cdot X_3$	67,01	19,79	3,39	0,0054

$$Y_3 = 387,88 + 50,10 X_2 + 293,64 X_3 + 65,92 X_3^2 + 67,01 X_2 X_3$$

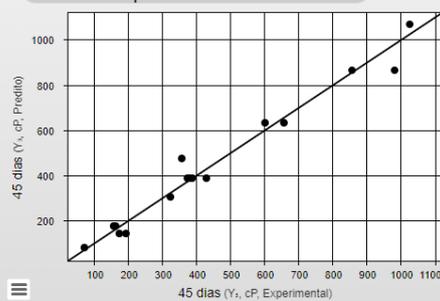
Desative os coeficientes que não são estatisticamente significativos para reparametrizar o modelo ao nível de significância desejado (D

Nível de significância: $\alpha=10\%$

Gráfico de Pareto



Valores Experimentais x Preditos

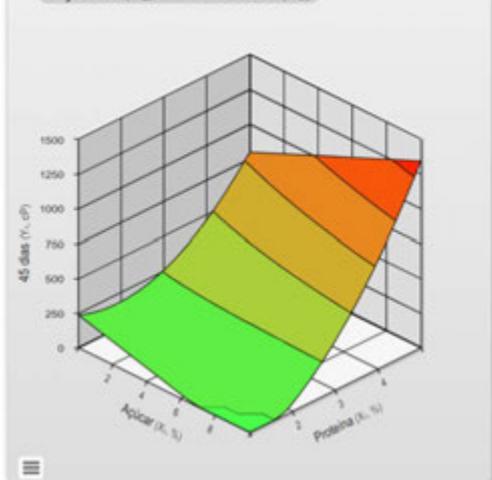


ANOVA

Fonte de Variação	Soma dos Quadrados	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	Fcalc	p-valor
Regressão	1304394,1	4	326098,5	104,1	0,00000
Resíduos	37585,7	12	3132,1		
Falta de Ajuste	37481,6	10	3748,2	72,1	0,01376
Erro Puro	104,0	2	52,0		
Total	1341979,8	16			

$R^2 = 97,20\%$

Açúcar (X_2) x Proteína (X_3)



Açúcar (X_2) x Proteína (X_3)

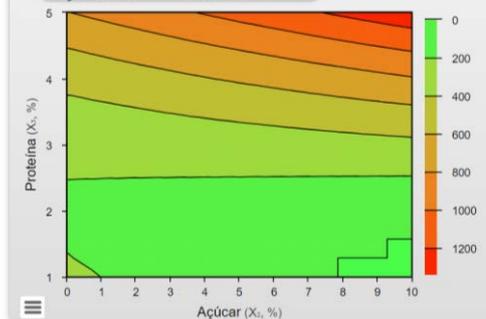


Figura 83. Análise estatística da resposta viscosidade a 50 s-1 após 45 dias de armazenamento nas formulações com a fibra prebiótica IMO (Fonte: Protimiza, 2022).

8.2.4 Gráficos estatísticos - Análise de Viscosidade 100 s⁻¹

A seguir estão apresentados os diagramas de Pareto, gráficos dos valores experimentais versus previstos e tabelas ANOVA para os resultados experimentais dos valores de viscosidade determinados na taxa de deformação de 100 s⁻¹ do planejamento da bebida láctea utilizando o **Xilo oligossacarídeos (XOS)**. Os resultados destes gráficos estão discutidos na dissertação no item 5.2.2. As superfícies de resposta não foram geradas e apresentadas aqui pois, conforme resume a **Tabela 21**, de resultados, os modelos não foram preditivos.

Resposta

- 07 dias (Y_1 , cP)
- 30 dias (Y_2 , cP)
- 45 dias (Y_3 , cP)

Regressão

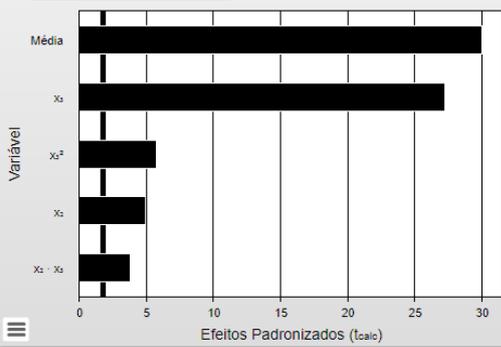
	Nome	Coefficiente	Erro Padrão	t calculado	p-valor
<input type="checkbox"/>	Média	228,33	7,60	30,05	0,0000
<input type="checkbox"/>	X_1				
<input type="checkbox"/>	X_1^2				
<input checked="" type="checkbox"/>	X_2	30,89	6,25	4,95	0,0003
<input type="checkbox"/>	X_2^2				
<input checked="" type="checkbox"/>	X_3	170,03	6,25	27,22	0,0000
<input checked="" type="checkbox"/>	X_3^2	36,81	6,39	5,76	0,0001
<input type="checkbox"/>	$X_1 \cdot X_2$				
<input type="checkbox"/>	$X_1 \cdot X_3$				
<input checked="" type="checkbox"/>	$X_2 \cdot X_3$	31,26	8,16	3,83	0,0024

$$Y_1 = 228,33 + 30,89 x_2 + 170,03 x_3 + 36,81 x_3^2 + 31,26 x_2 x_3$$

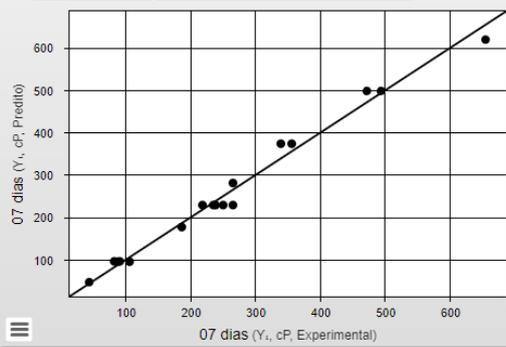
Desative os coeficientes que não são estatisticamente significativos para reparametrizar o modelo ao nível de significância desejado (D

Nível de significância: $\alpha=10\%$

Gráfico de Pareto



Valores Experimentais x Preditos



ANOVA

Fonte de Variação	Soma dos Quadrados	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	F _{calc}	p-valor
Regressão	433297,0	4	108324,2	203,3	0,00000
Resíduos	6393,2	12	532,8		
Falta de Ajuste	5799,9	10	580,0	2,0	0,38549
Erro Puro	593,3	2	296,6		
Total	439690,1	16			

$R^2 = 98,55\%$

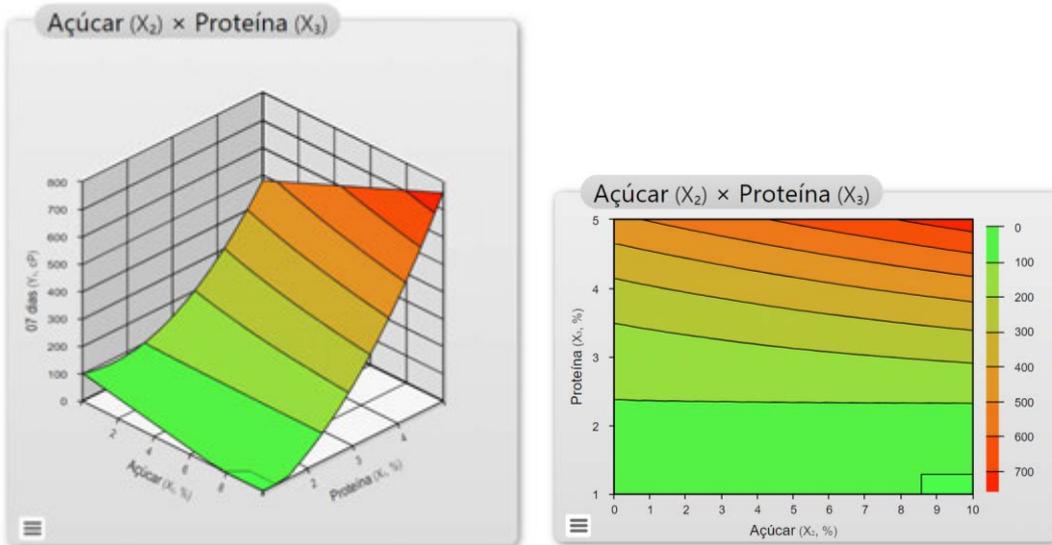
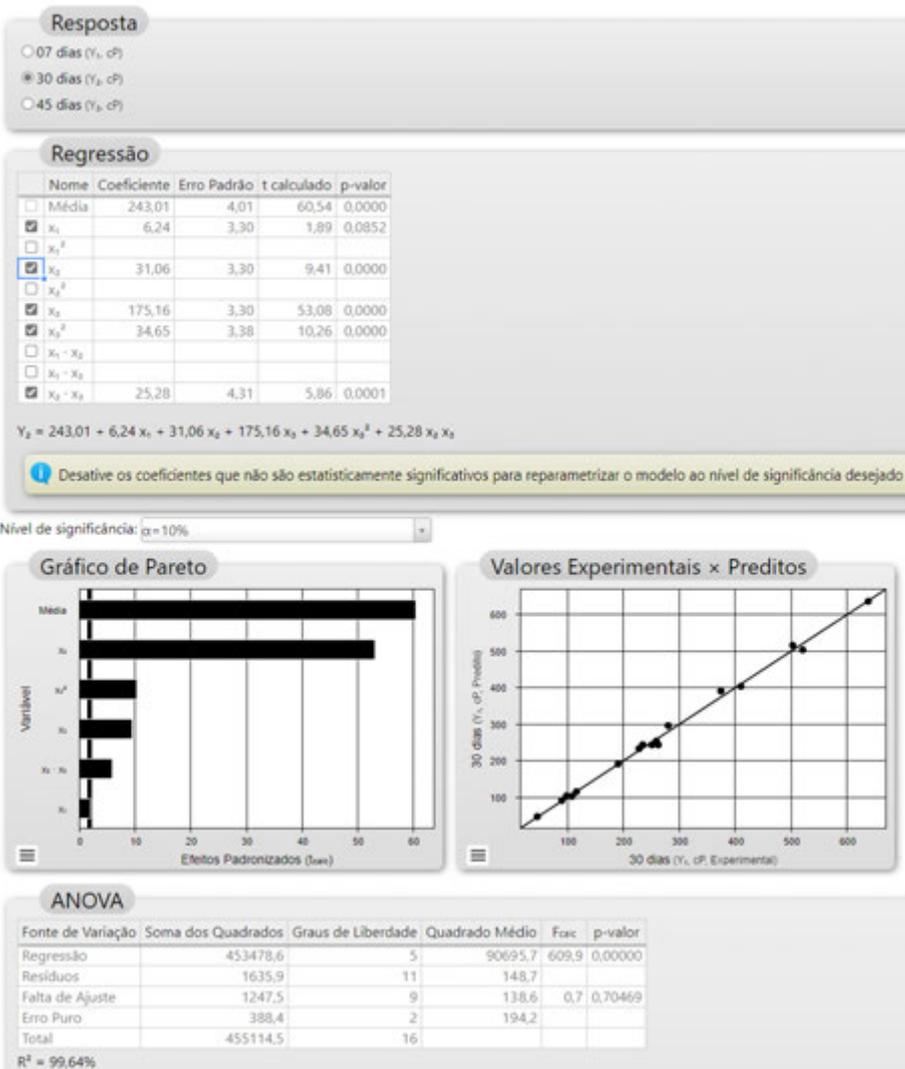


Figura 84. Análise estatística da resposta viscosidade a 100 s-1 após 7 dias de armazenamento nas formulações com a fibra prebiótica IMO (Fonte: Protimiza, 2022).



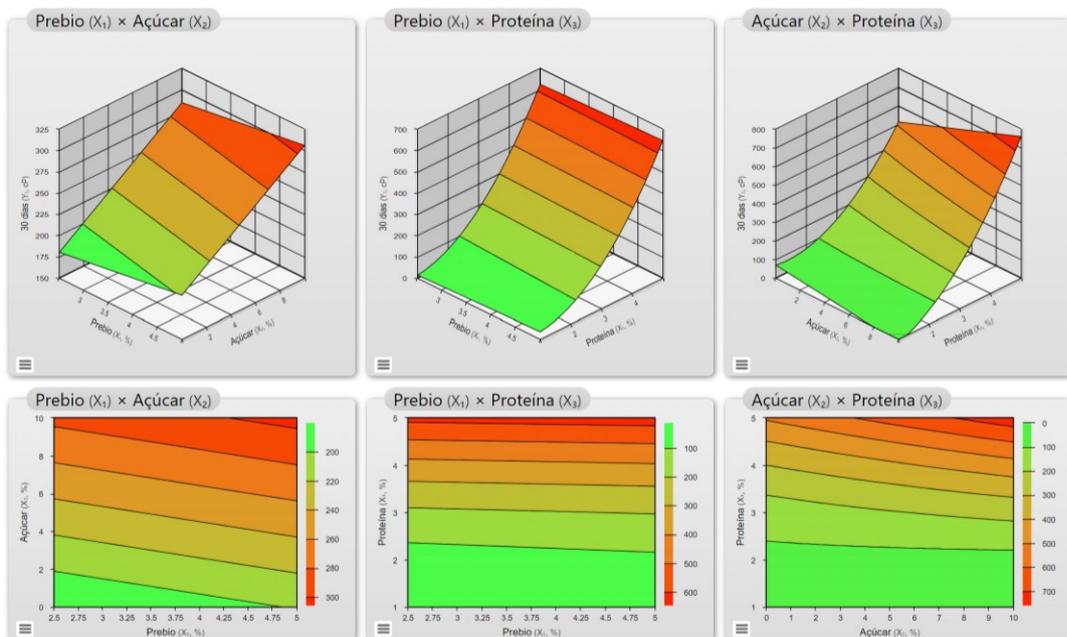


Figura 85. Análise estatística da resposta viscosidade a 100 s⁻¹ após 30 dias de armazenamento nas formulações com a fibra prebiótica IMO (Fonte: Protimiza, 2022).

Resposta

- 07 dias (Y_1 , cP)
- 30 dias (Y_2 , cP)
- 45 dias (Y_3 , cP)

Regressão

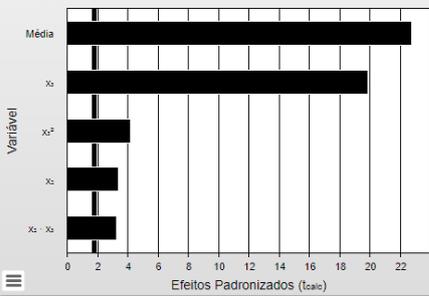
	Nome	Coefficiente	Erro Padrão	t calculado	p-valor
<input type="checkbox"/>	Média	234,97	10,32	22,78	0,0000
<input type="checkbox"/>	X_1				
<input type="checkbox"/>	X_1^2				
<input checked="" type="checkbox"/>	X_2	28,87	8,48	3,40	0,0052
<input type="checkbox"/>	X_2^2				
<input checked="" type="checkbox"/>	X_3	168,41	8,48	19,86	0,0000
<input checked="" type="checkbox"/>	X_3^2	36,55	8,68	4,21	0,0012
<input type="checkbox"/>	$X_1 \cdot X_2$				
<input type="checkbox"/>	$X_1 \cdot X_3$				
<input checked="" type="checkbox"/>	$X_2 \cdot X_3$	35,97	11,08	3,25	0,0070

$$Y_3 = 234,97 + 28,87 x_2 + 168,41 x_3 + 36,55 x_3^2 + 35,97 x_2 x_3$$

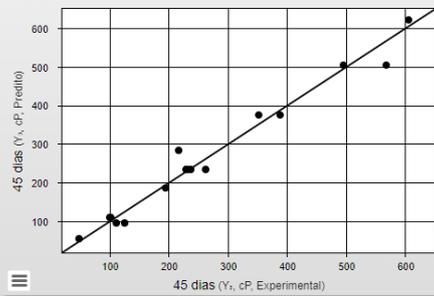
Desative os coeficientes que não são estatisticamente significativos para reparametrizar o modelo ao nível de significância desejado (D

Nível de significância: $\alpha = 10\%$

Gráfico de Pareto



Valores Experimentais x Preditos

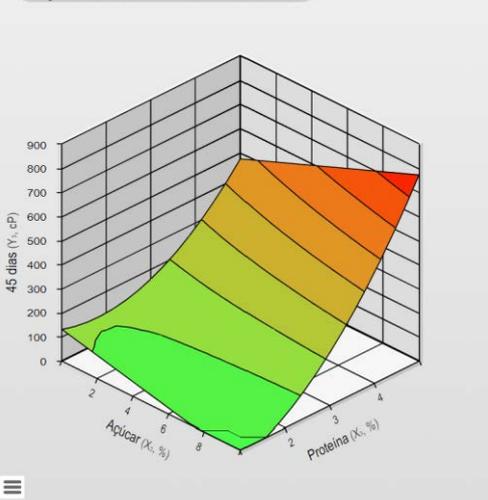


ANOVA

Fonte de Variação	Soma dos Quadrados	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	Fcalc	p-valor
Regressão	426475,3	4	106618,8	108,6	0,00000
Resíduos	11784,2	12	982,0		
Falta de Ajuste	11761,3	10	1176,1	102,9	0,00966
Erro Puro	22,9	2	11,4		
Total	438259,4	16			

$R^2 = 97,31\%$

Açúcar (X_2) x Proteína (X_3)



Açúcar (X_2) x Proteína (X_3)

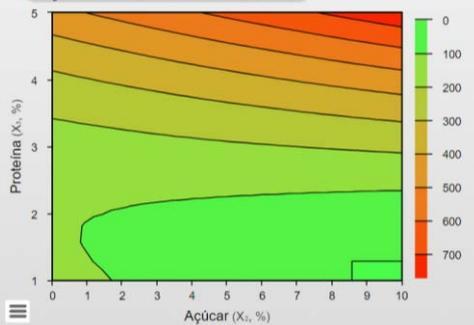


Figura 86. Análise estatística da resposta viscosidade a 100 s⁻¹ após 45 dias de armazenamento nas formulações com a fibra prebiótica IMO (Fonte: Protimiza, 2022).

8.2.5 Tabelas e gráficos - Análise de Viscosidade

A **tabela 35**, contém os valores de **k(mPa)**, índice de viscosidade e **n**, comportamento de fluxo e **tabela 36**, viscosidade aparente (**mPa.s**) de todas as repetições e na **figura 86**, está a representação gráfica dessas repetições, todos referentes aos ensaios reológicos realizados nas formulações **IMO 07 dias** após sua formulação, todos os ensaios foram realizados na temperatura de 10°C.

Tabela 35. Parâmetros ajustados (Modelo de Lei da Potência) aos reogramas das amostras com fibra prebiótica XOS 45 dias após formulação à 10°C.

(a) IMO F01 07 dias						(b) IMO F02 07 dias					
Curva ascendente						Curva ascendente					
Rep.	Counter	K (mPa)	n	R ²	RSD(%)	Rep.	Counter	K (mPa)	n	R ²	RSD(%)
R1	440	2010.90	0.3063	0.9965	0.0877	R1	443	1962.10	0.3372	0.9953	0.1181
R2	441	1849.00	0.3209	0.9927	0.1310	R2	444	1996.30	0.3268	0.9912	0.1601
R3	442	1844.50	0.3343	0.9935	0.1346	R3	445	1984.30	0.3227	0.9907	0.1614
Média	1901.47	0.3205				Média	1980.90	0.3289			
DP	94.80	0.0140				DP	17.35	0.0075			
(c) IMO F03 07 dias						(d) IMO F04 07 dias					
Curva ascendente						Curva ascendente					
Rep.	Counter	K (mPa)	n	R ²	RSD(%)	Rep.	Counter	K (mPa)	n	R ²	RSD(%)
R1	446	1887.00	0.3618	0.9825	0.2608	R1	449	1871.30	0.3771	0.9866	0.2372
R2	447	1807.40	0.3666	0.9833	0.2576	R2	450	1919.80	0.3757	0.9859	0.2451
R3	448	1923.90	0.3592	0.9833	0.2567	R3	451	1872.90	0.3744	0.9828	0.2749
Média	1872.77	0.3625				Média	1888.00	0.3757			
DP	59.54	0.0038				DP	27.55	0.0014			
(e) IMO F05 07 dias						(f) IMO F06 07 dias					
Curva ascendente						Curva ascendente					
Rep.	Counter	K (mPa)	n	R ²	RSD(%)	Rep.	Counter	K (mPa)	n	R ²	RSD(%)
R1	452	11536.80	0.2381	0.9849	0.1383	R1	456	11456.70	0.2470	0.9844	0.1492
R2	453	10968.10	0.2416	0.9816	0.1530	R2	457	10966.70	0.2633	0.9831	0.1651
R3	454	9962.10	0.2629	0.9870	0.1400	R3	458	10065.90	0.2662	0.9898	0.1274
Média	10822.33	0.2475				Média	10829.77	0.2588			
DP	797.41	0.0134				DP	705.44	0.0104			
(g) IMO F07 07 dias						(h) IMO F08 07 dias					
Curva ascendente						Curva ascendente					
Rep.	Counter	K (mPa)	n	R ²	RSD(%)	Rep.	Counter	K (mPa)	n	R ²	RSD(%)
R1	459	18471.00	0.2168	0.9276	0.2720	R1	462	15553.50	0.2429	0.9831	0.1471
R2	460	15347.40	0.2525	0.9632	0.2239	R2	463	14530.20	0.2558	0.9871	0.1363
R3	461	12803.40	0.2840	0.9826	0.1695	R3	464	14619.20	0.2511	0.9882	0.1274
Média	15540.60	0.2511				Média	14900.97	0.2499			
DP	2838.74	0.0336				DP	566.86	0.0065			
(i) IMO F09 07 dias						(j) IMO F10 07 dias					
Curva ascendente						Curva ascendente					
Rep.	Counter	K (mPa)	n	R ²	RSD(%)	Rep.	Counter	K (mPa)	n	R ²	RSD(%)
R1	465	5867.50	0.2862	0.9961	0.0877	R1	469	6773.40	0.2895	0.9963	0.0789
R2	466	5813.90	0.2908	0.9974	0.0689	R2	470	6797.40	0.2828	0.9964	0.0779
R3	468	5287.50	0.3017	0.9954	0.1029	R3	471	6124.10	0.2997	0.9968	0.0767
Média	5656.30	0.2929				Média	6564.97	0.2907			
DP	320.51	0.0080				DP	381.99	0.0085			
(k) IMO F11 07 dias						(l) IMO F12 07 dias					

Curva ascendente						Curva ascendente					
Rep.	Counter	K (mPa)	n	R ²	RSD(%)	Rep.	Counter	K (mPa)	n	R ²	RSD(%)
R1	472	5447.80	0.2749	0.9948	0.0899	R1	475	6682.80	0.3147	0.9948	0.1004
R2	473	4892.80	0.2894	0.9941	0.0994	R2	476	6251.90	0.3079	0.9946	0.1026
R3	474	4940.00	0.2830	0.9959	0.0834	R3	477	5967.20	0.3143	0.9944	0.1080
Média		5093.53	0.2824			Média		6300.63	0.3123		
DP		307.71	0.0073			DP		360.28	0.0038		

(m) IMO F13 07 dias						(n) IMO F14 07 dias					
Curva ascendente						Curva ascendente					
Rep.	Counter	K (mPa)	n	R ²	RSD(%)	Rep.	Counter	K (mPa)	n	R ²	RSD(%)
R1	478	661.40	0.4010	0.9877	0.2229	R1	481	23103.80	0.2254	0.9479	0.2401
R2	479	693.20	0.3922	0.9797	0.2961	R2	482	22478.10	0.2356	0.9470	0.2539
R3	480	676.00	0.4169	0.9891	0.2391	R3	483	20692.30	0.2471	0.9678	0.2077
Média		676.87	0.4034			Média		22091.40	0.2360		
DP		15.92	0.0125			DP		1251.39	0.0109		

(o) IMO PC01 07 dias						(p) IMO PC02 07 dias					
Curva ascendente						Curva ascendente					
Rep.	Counter	K (mPa)	n	R ²	RSD(%)	Rep.	Counter	K (mPa)	n	R ²	RSD(%)
R1	484	6143.40	0.3055	0.9947	0.0987	R1	487	5503.20	0.3212	0.9973	0.0733
R2	485	5948.30	0.2908	0.9934	0.1194	R2	488	5624.90	0.3074	0.9961	0.0897
R3	486	5556.30	0.3148	0.9961	0.0901	R3	489	5092.90	0.3272	0.9948	0.1118
Média		5882.67	0.3037			Média		5407.00	0.3186		
DP		299.00	0.0121			DP		278.74	0.0102		

(q) IMO PC03 07 dias					
Curva ascendente					
Rep.	Counter	K (mPa)	n	R ²	RSD(%)
R1	490	6823.80	0.3032	0.9893	0.1403
R2	491	6469.50	0.3008	0.9938	0.1050
R3	492	5903.80	0.3243	0.9932	0.1173
Média		6399.03	0.3094		
DP		464.03	0.0129		

Tabela 36. Viscosidades aparentes nas taxas de 50 e 100s⁻¹ (Modelo de Lei da Potência) – amostras com fibra prebiótica IMO 07 dias após formulação à 10°C.

(a) IMO F01 07 dias					(b) IMO F02 07 dias				
Curva ascendente					Curva ascendente				
Tx. D (1/s)		50		100	Tx. D (1/s)		50		100
Rep.	Counter	η_{ap} (mPa.s)	η_{ap} (mPa.s)		Rep.	Counter	η_{ap} (mPa.s)	η_{ap} (mPa.s)	
R1	440	133.30	82.41		R1	443	146.77	92.71	
R2	441	129.77	81.05		R2	444	143.38	89.91	
R3	442	136.42	86.00		R3	445	140.25	87.70	
Média		133.16	83.15		Média		143.47	90.11	
DP		3.33	2.56		DP		3.26	2.51	

(c) IMO F03 07 dias					(d) IMO F04 07 dias				
Curva ascendente					Curva ascendente				
Tx. D (1/s)		50		100	Tx. D (1/s)		50		100
Rep.	Counter	η_{ap} (mPa.s)	η_{ap} (mPa.s)		Rep.	Counter	η_{ap} (mPa.s)	η_{ap} (mPa.s)	
R1	446	155.41	99.86		R1	449	163,63	106,25	
R2	447	151.68	97.78		R2	450	166,95	108,31	
R3	448	156.85	100.60		R3	451	162,05	105,03	
Média		154.65	99.41		Média		164,21	106,53	
DP		2.67	1.46		DP		2,50	1,66	

(e) IMO F05 07 dias					(f) IMO F06 07 dias				

Tx. D (1/s)		Curva ascendente	
		50	100
Rep.	Counter	η_{ap} (mPa.s)	η_{ap} (mPa.s)
R1	452	585.65	345.37
R2	453	564.46	333.68
R3	454	557.24	334.31
Média		569.12	337.79
DP		14.77	6.57

Tx. D (1/s)		Curva ascendente	
		50	100
Rep.	Counter	η_{ap} (mPa.s)	η_{ap} (mPa.s)
R1	456	602.19	357.32
R2	457	614.39	368.70
R3	458	570.36	342.97
Média		595.65	356.33
DP		22.73	12.90

(g) IMO F07 07 dias			
Tx. D (1/s)		Curva ascendente	
		50	100
Rep.	Counter	η_{ap} (mPa.s)	η_{ap} (mPa.s)
R1	459	862.69	501.29
R2	460	824.24	490.95
R3	461	777.79	473.51
Média		821.58	488.58
DP		42.51	14.04

(h) IMO F08 07 dias			
Tx. D (1/s)		Curva ascendente	
		50	100
Rep.	Counter	η_{ap} (mPa.s)	η_{ap} (mPa.s)
R1	462	804.52	476.02
R2	463	790.49	471.92
R3	464	780.85	464.65
Média		791.95	470.86
DP		11.91	5.76

(i) IMO F09 07 dias			
Tx. D (1/s)		Curva ascendente	
		50	100
Rep.	Counter	η_{ap} (mPa.s)	η_{ap} (mPa.s)
R1	465	359.52	219.21
R2	466	362.71	221.85
R3	468	344.24	212.15
Média		355.49	217.74
DP		9.87	5.01

(j) IMO F10 07 dias			
Tx. D (1/s)		Curva ascendente	
		50	100
Rep.	Counter	η_{ap} (mPa.s)	η_{ap} (mPa.s)
R1	469	420.43	256.93
R2	470	411.00	250.00
R3	471	395.60	243.47
Média		409.01	250.13
DP		12.53	6.73

(k) IMO F11 07 dias			
Tx. D (1/s)		Curva ascendente	
		50	100
Rep.	Counter	η_{ap} (mPa.s)	η_{ap} (mPa.s)
R1	472	319.37	193.21
R2	473	303.58	185.51
R3	474	298.93	181.86
Média		307.29	186.86
DP		10.72	5.79

(l) IMO F12 07 dias			
Tx. D (1/s)		Curva ascendente	
		50	100
Rep.	Counter	η_{ap} (mPa.s)	η_{ap} (mPa.s)
R1	475	457.78	284.68
R2	476	417.02	258.11
R3	477	408.12	253.73
Média		427.64	265.51
DP		26.48	16.75

(m) IMO F13 07 dias			
Tx. D (1/s)		Curva ascendente	
		50	100
Rep.	Counter	η_{ap} (mPa.s)	η_{ap} (mPa.s)
R1	478	63.50	41.92
R2	479	64.30	42.19
R3	480	69.07	46.10
Média		65.62	43.41
DP		3.01	2.34

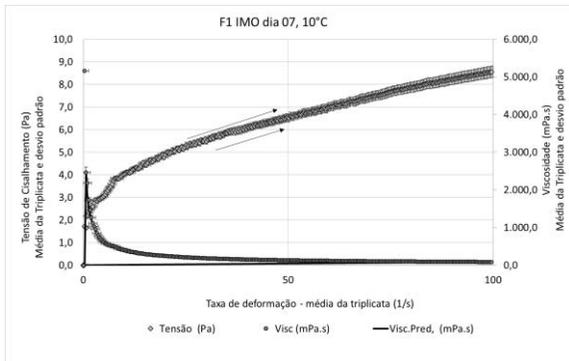
(n) IMO F14 07 dias			
Tx. D (1/s)		Curva ascendente	
		50	100
Rep.	Counter	η_{ap} (mPa.s)	η_{ap} (mPa.s)
R1	481	1115.99	652.35
R2	482	1129.97	665.21
R3	483	1088.06	645.67
Média		1111.34	654.41
DP		21.34	9.93

(o) IMO PC01 07 dias			
-----------------------------	--	--	--

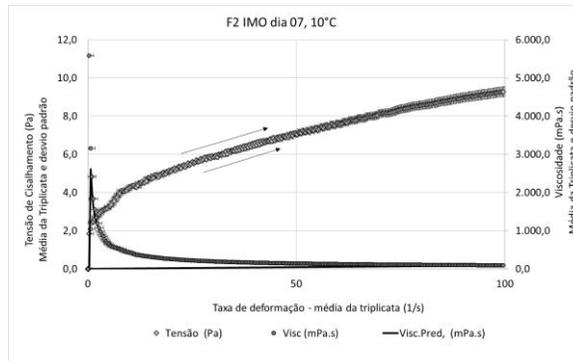
(p) IMO PC02 07 dias			
-----------------------------	--	--	--

		Curva ascendente				Curva ascendente	
Tx. D (1/s)		50	100	Tx. D (1/s)		50	100
Rep.	Counter	η_{ap} (mPa.s)	η_{ap} (mPa.s)	Rep.	Counter	η_{ap} (mPa.s)	η_{ap} (mPa.s)
R1	484	405.95	250.85	R1	487	386.68	241.55
R2	485	371.09	226.98	R2	488	374.46	231.69
R3	486	380.76	236.80	R3	489	366.35	229.81
		Média	385.94			Média	375.83
		DP	18.00			DP	10.23
			11.99				6.31

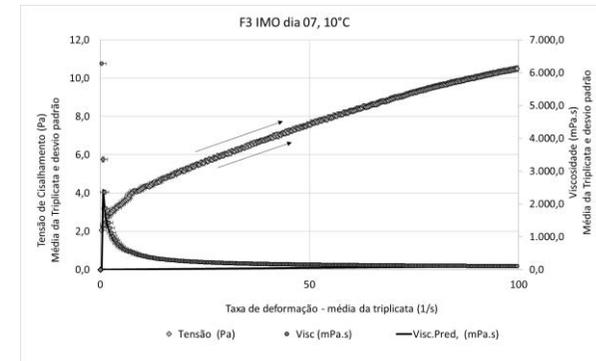
(q) IMO PC03 07 dias			
		Curva ascendente	
Tx. D (1/s)		50	100
Rep.	Counter	η_{ap} (mPa.s)	η_{ap} (mPa.s)
R1	490	446.87	275.69
R2	491	419.71	258.51
R3	492	419.89	262.86
		Média	428.83
		DP	15.63
			8.93



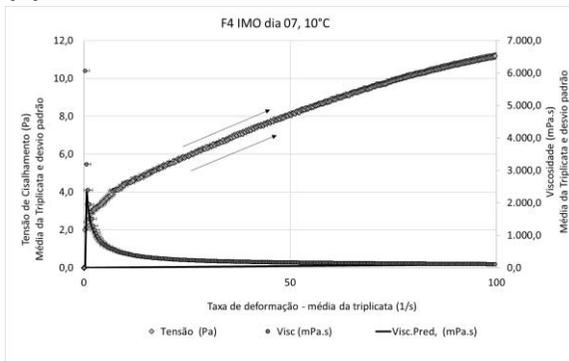
(a) IMO F01 07 dias



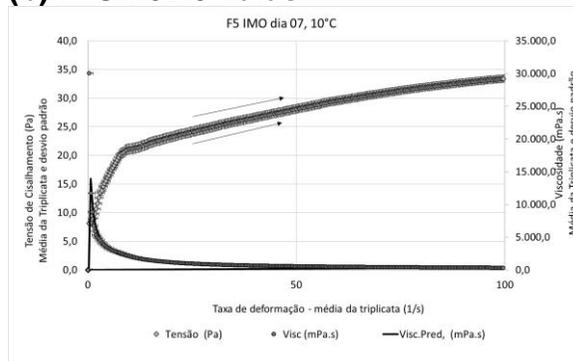
(b) IMO F02 07 dias



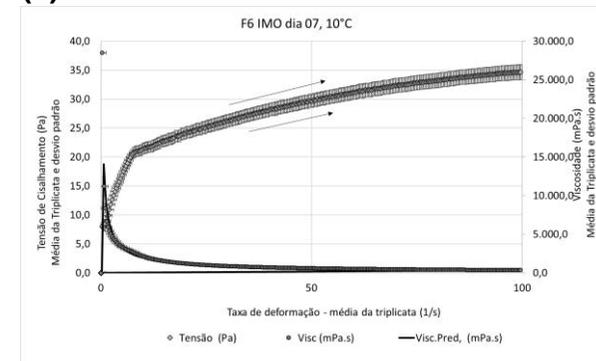
(c) IMO F03 07 dias



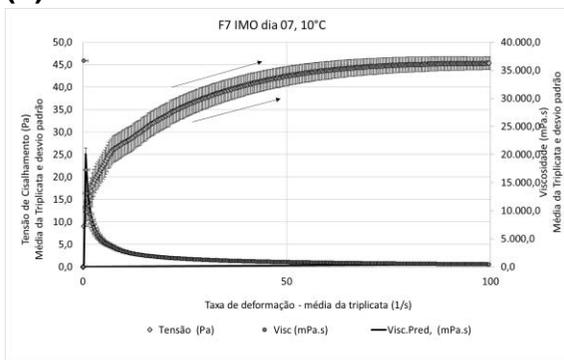
(d) IMO F04 07 dias



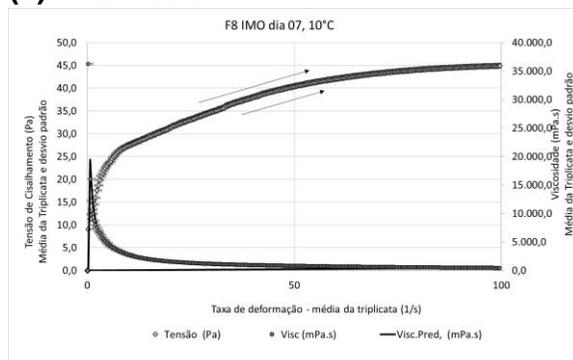
(e) IMO F05 07 dias



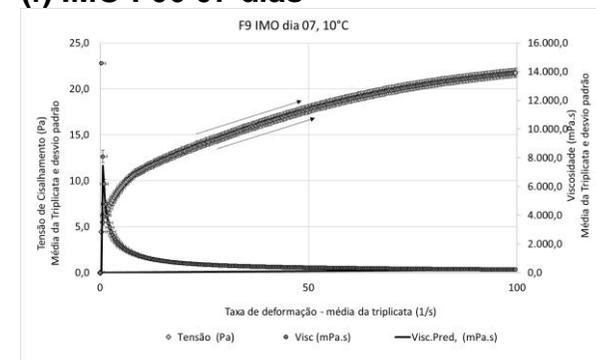
(f) IMO F06 07 dias



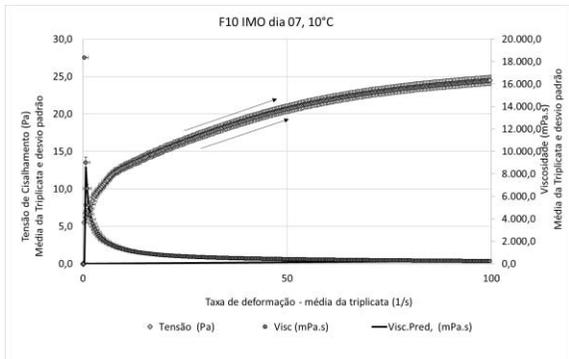
(g) IMO F07 07 dias



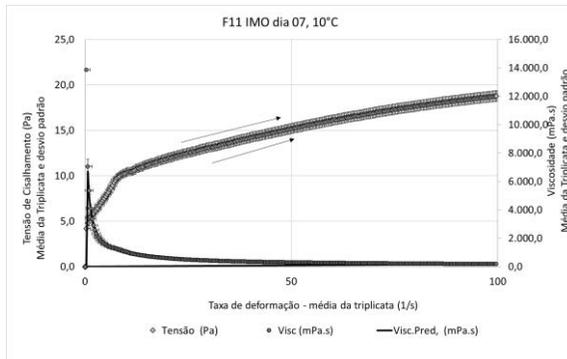
(h) IMO F08 07 dias



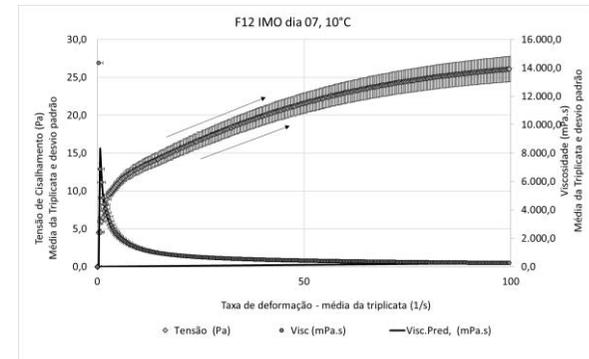
(i) IMO F09 07 dias



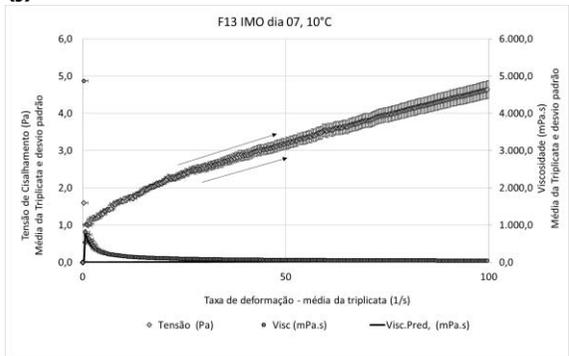
(j) IMO F10 07 dias



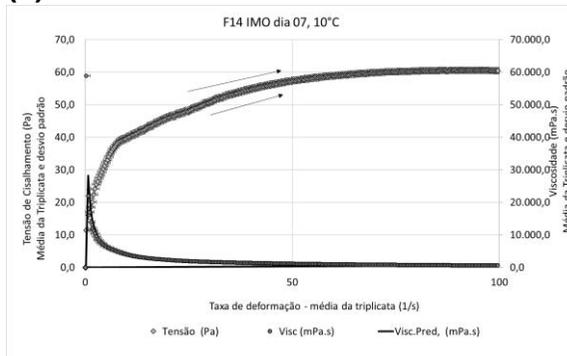
(k) IMO F11 07 dias



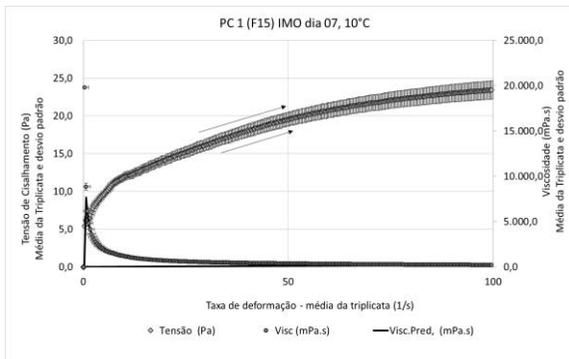
(l) IMO F12 07 dias



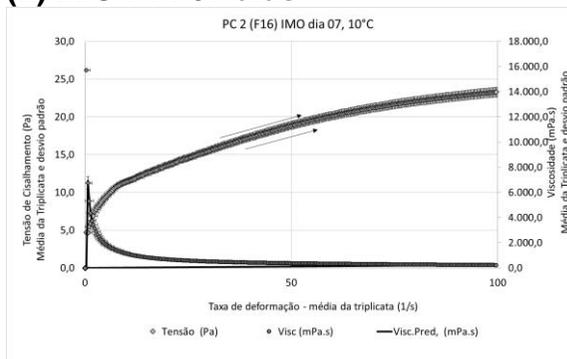
(m) IMO F13 07 dias



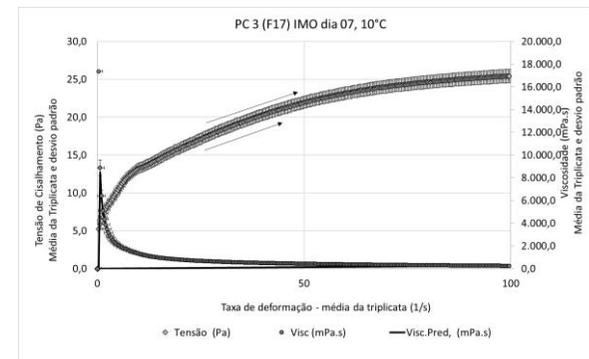
(n) IMO F14 07 dias



(o) IMO PC01 07 dias



(p) IMO PC02 07 dias



(q) IMO PC03 07 dias

Figura 87. Comportamento reológico – Amostras com fibra prebiótica IMO 07 dias após formulação à 10°C - Ajuste ao Modelo de Lei da Potência.

A **tabela 37**, contém os valores de **k(mPa)**, índice de viscosidade e **n**, comportamento de fluxo e **tabela 38**, viscosidade aparente (**mPa.s**) de todas as repetições e na **figura 87**, está a representação gráfica dessas repetições, todos referentes aos ensaios reológicos realizados nas formulações **IMO 30 dias** após sua formulação, todos os ensaios foram realizados na temperatura de 10°C.

Tabela 37. Parâmetros ajustados (Modelo de Lei da Potência) aos reogramas das amostras com fibra prebiótica IMO 30 dias após formulação à 10°C.

(a) IMO F01 30 dias						(b) IMO F02 30 dias					
Curva ascendente						Curva ascendente					
Rep.	Counter	K (mPa)	n	R ²	RSD(%)	Rep.	Counter	K (mPa)	n	R ²	RSD(%)
R1	497	2096.00	0.3120	0.9929	0.1344	R1	500	2352.30	0.3037	0.9926	0.1334
R2	498	2296.70	0.2949	0.9919	0.1380	R2	501	2310.10	0.3169	0.9948	0.1177
R3	499	2061.10	0.3175	0.9958	0.1034	R3	502	2247.50	0.3251	0.9960	0.0982
Média		2151.27	0.3081			Média		2303.30	0.3152		
DP		127.15	0.0118			DP		52.73	0.0108		
(c) IMO F03 30 dias						(d) IMO F04 30 dias					
Curva ascendente						Curva ascendente					
Rep.	Counter	K (mPa)	n	R ²	RSD(%)	Rep.	Counter	K (mPa)	n	R ²	RSD(%)
R1	503	2240.60	0.3407	0.9853	0.2259	R1	506	2162.50	0.3698	0.9914	0.1870
R2	504	2210.30	0.3401	0.9834	0.2381	R2	507	2236.20	0.3550	0.9869	0.2216
R3	505	2121.00	0.3580	0.9870	0.2203	R3	508	2170.60	0.3589	0.9857	0.2350
Média		2190.63	0.3463			Média		2189.77	0.3612		
DP		62.18	0.0102			DP		40.42	0.0077		
(e) IMO F05 30 dias						(f) IMO F06 30 dias					
Curva ascendente						Curva ascendente					
Rep.	Counter	K (mPa)	n	R ²	RSD(%)	Rep.	Counter	K (mPa)	n	R ²	RSD(%)
R1	509	14817.80	0.2081	0.9333	0.2535	R1	513	14550.00	0.2262	0.9612	0.2105
R2	510	13103.30	0.2209	0.9725	0.1747	R2	514	14698.10	0.2263	0.9682	0.1905
R3	511	12485.10	0.2368	0.9752	0.1774	R3	515	12400.80	0.2528	0.9818	0.1622
Média		13468.73	0.2219			Média		13882.97	0.2351		
DP		1208.52	0.0144			DP		1285.73	0.0153		
(g) IMO F07 30 dias						(h) IMO F08 30 dias					
Curva ascendente						Curva ascendente					
Rep.	Counter	K (mPa)	n	R ²	RSD(%)	Rep.	Counter	K (mPa)	n	R ²	RSD(%)
R1	516	19422.20	0.2137	0.9394	0.2468	R1	519	20369.00	0.1998	0.9547	0.2019
R2	517	17821.40	0.2362	0.9444	0.2586	R2	520	18186.50	0.2202	0.9750	0.1651
R3	518	15808.90	0.2527	0.9781	0.1750	R3	521	17111.10	0.2288	0.9775	0.1630
Média		17684.17	0.2342			Média		18555.53	0.2163		
DP		1810.55	0.0196			DP		1660.01	0.0149		
(i) IMO F09 30 dias						(j) IMO F10 30 dias					
Curva ascendente						Curva ascendente					
Rep.	Counter	K (mPa)	n	R ²	RSD(%)	Rep.	Counter	K (mPa)	n	R ²	RSD(%)
R1	522	6939.60	0.2614	0.9967	0.0696	R1	525	7683.90	0.2754	0.9906	0.1233
R2	523	6698.60	0.2662	0.9969	0.0671	R2	526	6892.80	0.2847	0.9965	0.0764
R3	524	6391.30	0.2735	0.9971	0.0675	R3	527	6456.60	0.2891	0.9963	0.0810
Média		6676.50	0.2670			Média		7011.10	0.2831		
DP		274.82	0.0061			DP		622.14	0.0070		
(k) IMO F11 30 dias						(l) IMO F12 30 dias					
Curva ascendente						Curva ascendente					
Rep.	Counter	K (mPa)	n	R ²	RSD(%)	Rep.	Counter	K (mPa)	n	R ²	RSD(%)
R1	528	5919.60	0.2579	0.9920	0.1054	R1	531	8311.40	0.2798	0.9889	0.1338
R2	529	5891.00	0.2582	0.9912	0.1117	R2	532	7477.00	0.2823	0.9937	0.1101
R3	530	5479.60	0.2613	0.9923	0.1052	R3	533	6704.80	0.2943	0.9934	0.1119
Média		5763.40	0.2591			Média		7497.73	0.2855		
DP		246.19	0.0019			DP		803.50	0.0078		
(m) IMO F13 30 dias						(n) IMO F14 30 dias					

Curva ascendente						Curva ascendente					
Rep.	Counter	K (mPa)	n	R ²	RSD(%)	Rep.	Counter	K (mPa)	n	R ²	RSD(%)
R1	534	817.70	0.3784	0.9791	0.3123	R1	537	26115.20	0.1947	0.9574	0.1915
R2	535	750.60	0.3871	0.9770	0.3349	R2	538	27099.60	0.1863	0.9705	0.1524
R3	536	656.30	0.4147	0.9862	0.2759	R3	539	26497.60	0.1897	0.9647	0.1700
Média		741.53	0.3934			Média		26570.80	0.1902		
DP		81.08	0.0190			DP		496.27	0.0042		

(o) IMO PC01 30 dias						(p) IMO PC02 30 dias					
Curva ascendente						Curva ascendente					
Rep.	Counter	K (mPa)	n	R ²	RSD(%)	Rep.	Counter	K (mPa)	n	R ²	RSD(%)
R1	540	6371.80	0.2917	0.9964	0.0785	R1	543	7018.50	0.2883	0.9929	0.1099
R2	541	6530.80	0.2804	0.9956	0.0915	R2	544	6900.70	0.2968	0.9918	0.1199
R3	542	6322.50	0.2732	0.9956	0.0871	R3	546	6061.50	0.3080	0.9958	0.0894
Média		6408.37	0.2818			Média		6660.23	0.2977		
DP		108.86	0.0093			DP		521.85	0.0099		

(q) IMO PC03 30 dias					
Curva ascendente					
Rep.	Counter	K (mPa)	n	R ²	RSD(%)
R1	547	7069.70	0.2761	0.9972	0.0656
R2	548	7123.80	0.2806	0.9964	0.0755
R3	549	6585.10	0.2814	0.9965	0.0806
Média		6926.20	0.2794		
DP		296.64	0.0029		

Tabela 38. Viscosidades aparentes nas taxas de 50 e 100s⁻¹ (Modelo de Lei da Potência) – amostras com fibra prebiótica IMO 30 dias após formulação à 10°C.

(a) IMO F01 30 dias					(b) IMO F02 30 dias				
Curva ascendente					Curva ascendente				
Tx. D (1/s)		50		100	Tx. D (1/s)		50		100
Rep.	Counter	η_{ap} (mPa.s)	η_{ap} (mPa.s)	η_{ap} (mPa.s)	Rep.	Counter	η_{ap} (mPa.s)	η_{ap} (mPa.s)	η_{ap} (mPa.s)
R1	497	142.07	88.18		R1	500	154.35	95.26	
R2	498	145.60	89.31		R2	501	159.61	99.41	
R3	499	142.74	88.94		R3	502	160.35	100.44	
Média		143.47	88.81		Média		158.10	98.37	
DP		1.87	0.57		DP		3.27	2.74	

(c) IMO F03 30 dias					(d) IMO F04 30 dias				
Curva ascendente					Curva ascendente				
Tx. D (1/s)		50		100	Tx. D (1/s)		50		100
Rep.	Counter	η_{ap} (mPa.s)	η_{ap} (mPa.s)	η_{ap} (mPa.s)	Rep.	Counter	η_{ap} (mPa.s)	η_{ap} (mPa.s)	η_{ap} (mPa.s)
R1	503	169.92	107.59		R1	506	183.77	118.73	
R2	504	167.22	105.84		R2	507	179.34	114.69	
R3	505	172.11	110.29		R3	508	176.75	113.34	
Média		169.75	107.91		Média		179.95	115.58	
DP		2.45	2.24		DP		3.55	2.80	

(e) IMO F05 30 dias					(f) IMO F06 30 dias				
Curva ascendente					Curva ascendente				
Tx. D (1/s)		50		100	Tx. D (1/s)		50		100
Rep.	Counter	η_{ap} (mPa.s)	η_{ap} (mPa.s)	η_{ap} (mPa.s)	Rep.	Counter	η_{ap} (mPa.s)	η_{ap} (mPa.s)	η_{ap} (mPa.s)
R1	509	668.91	386.35		R1	513	705.02	412.35	
R2	510	621.89	362.39		R2	514	712.47	416.74	
R3	511	630.58	371.53		R3	515	666.78	397.24	
Média		640.46	373.42		Média		694.76	408.77	
DP		25.02	12.09		DP		24.52	10.23	

(g) IMO F07 30 dias					(h) IMO F08 30 dias				

Curva ascendente				Curva ascendente			
Tx. D (1/s)		50	100	Tx. D (1/s)		50	100
Rep.	Counter	ηap (mPa.s)	ηap (mPa.s)	Rep.	Counter	ηap (mPa.s)	ηap (mPa.s)
R1	516	896.19	519.64	R1	519	890.13	511.18
R2	517	897.98	528.86	R2	520	860.78	501.36
R3	518	849.69	506.18	R3	521	837.59	490.77
Média		881.29	518.22	Média		862.83	501.10
DP		27.38	11.41	DP		26.33	10.21

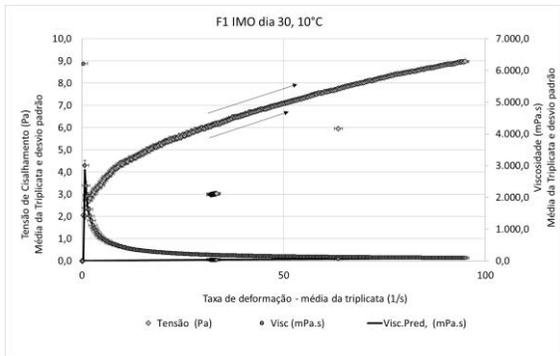
(i) IMO F09 30 dias				(j) IMO F10 30 dias			
Tx. D (1/s)		50	100	Tx. D (1/s)		50	100
Rep.	Counter	ηap (mPa.s)	ηap (mPa.s)	Rep.	Counter	ηap (mPa.s)	ηap (mPa.s)
R1	522	385.90	231.28	R1	528	324.70	194.13
R2	523	379.56	228.24	R2	529	323.51	193.46
R3	524	372.64	225.21	R3	530	304.59	182.54
Média		379.37	228.24	Média		317.60	190.04
DP		6.63	3.03	DP		11.28	6.51

(k) IMO F11 30 dias				(l) IMO F12 30 dias			
Tx. D (1/s)		50	100	Tx. D (1/s)		50	100
Rep.	Counter	ηap (mPa.s)	ηap (mPa.s)	Rep.	Counter	ηap (mPa.s)	ηap (mPa.s)
R1	528	324.70	194.13	R1	531	496.68	301.49
R2	529	323.51	193.46	R2	532	451.21	274.36
R3	530	304.59	182.54	R3	533	424.06	260.01
Média		317.60	190.04	Média		457.31	278.62
DP		11.28	6.51	DP		36.69	21.07

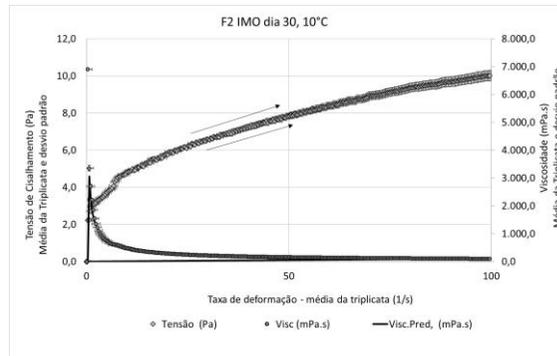
(m) IMO F13 30 dias				(n) IMO F14 30 dias			
Tx. D (1/s)		50	100	Tx. D (1/s)		50	100
Rep.	Counter	ηap (mPa.s)	ηap (mPa.s)	Rep.	Counter	ηap (mPa.s)	ηap (mPa.s)
R1	534	71.86	46.71	R1	537	1118.70	640.17
R2	535	68.25	44.63	R2	538	1123.34	639.09
R3	536	66.48	44.31	R3	539	1113.09	634.76
Média		68.87	45.22	Média		1118.38	638.00
DP		2.74	1.30	DP		5.13	2.86

(o) IMO PC01 30 dias				(p) IMO PC02 30 dias			
Tx. D (1/s)		50	100	Tx. D (1/s)		50	100
Rep.	Counter	ηap (mPa.s)	ηap (mPa.s)	Rep.	Counter	ηap (mPa.s)	ηap (mPa.s)
R1	540	398.92	244.15	R1	543	433.60	264.76
R2	541	391.19	237.56	R2	544	440.73	270.70
R3	542	368.19	222.48	R3	546	404.48	250.37
Média		386.10	234.73	Média		426.27	261.94
DP		15.98	11.11	DP		19.21	10.45

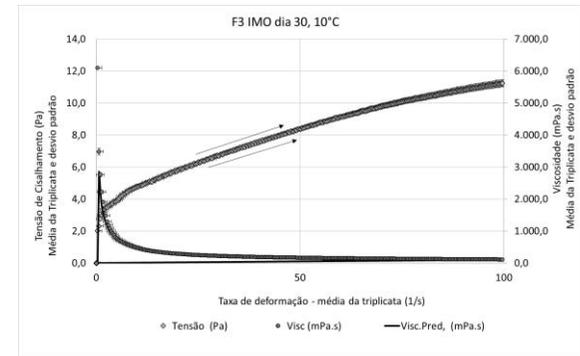
(q) IMO PC03 30 dias			
Tx. D (1/s)		50	100
Rep.	Counter	ηap (mPa.s)	ηap (mPa.s)
R1	547	416.41	252.12
R2	548	427.04	259.37
R3	549	395.99	240.64
Média		413.15	250.71
DP		15.78	9.44



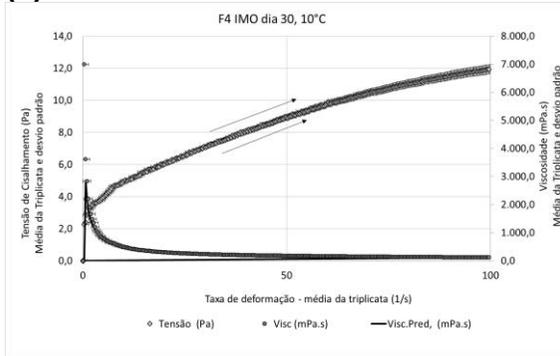
(a) IMO F01 30 dias



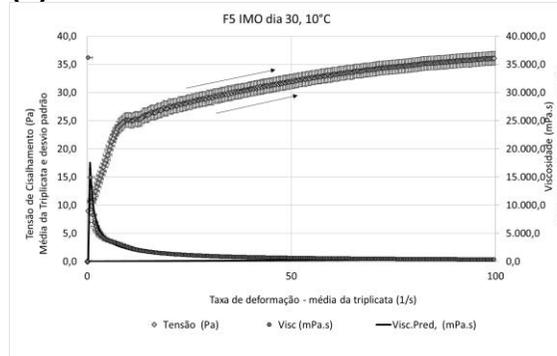
(b) IMO F02 30 dias



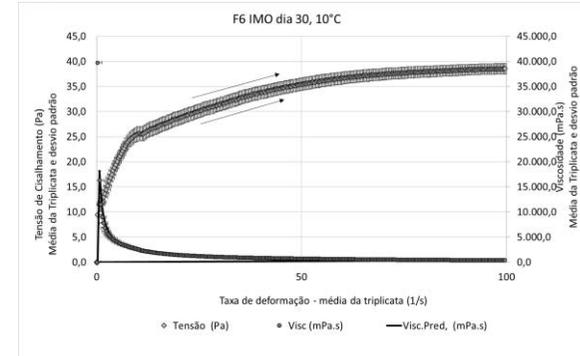
(c) IMO F03 30 dias



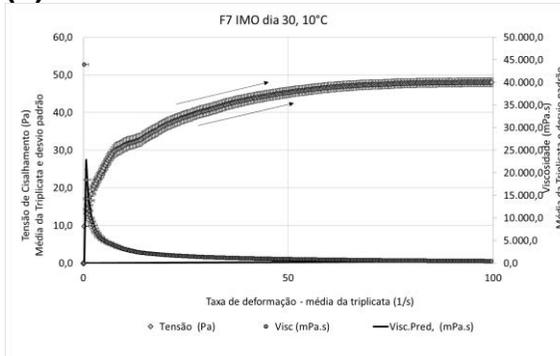
(d) IMO F04 30 dias



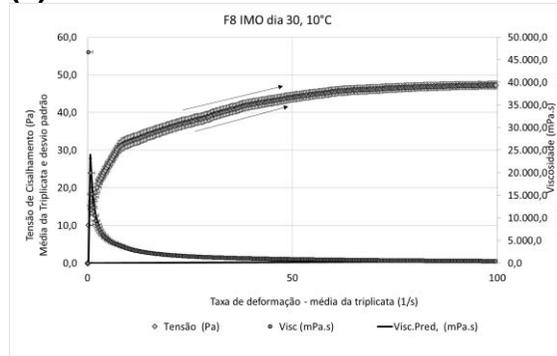
(e) IMO F05 30 dias



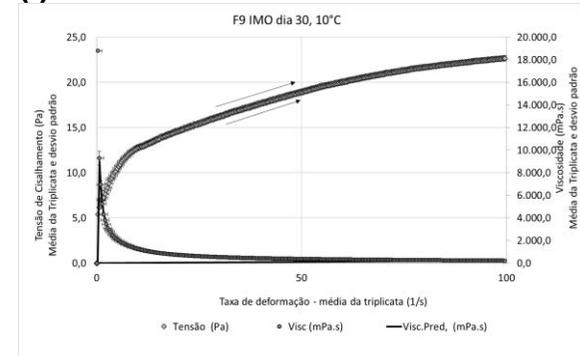
(f) IMO F06 30 dias



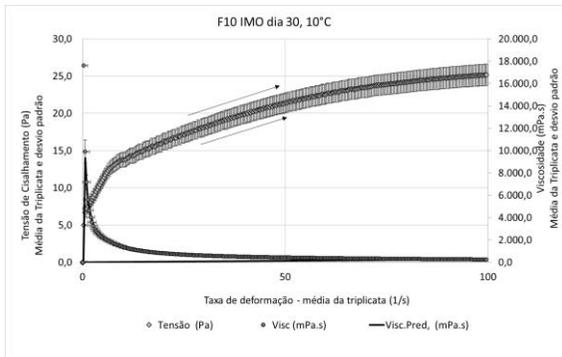
(g) IMO F07 30 dias



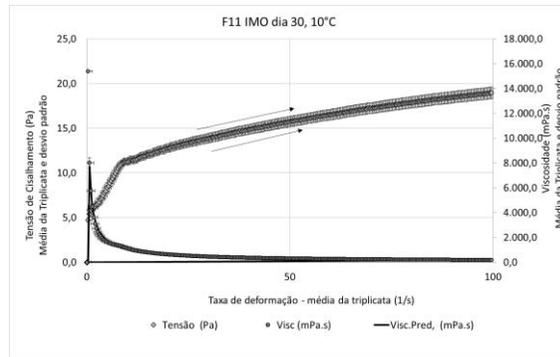
(h) IMO F08 30 dias



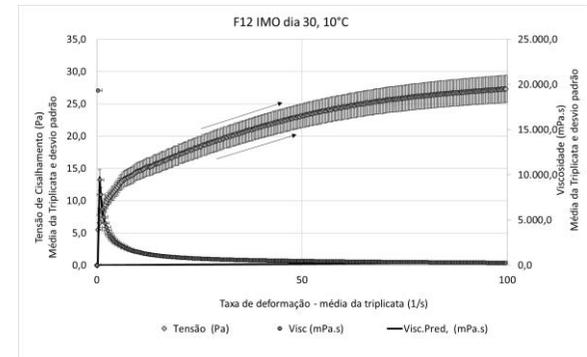
(i) IMO F09 30 dias



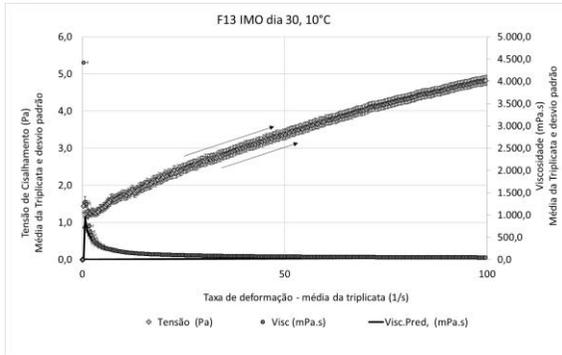
(j) IMO F10 30 dias



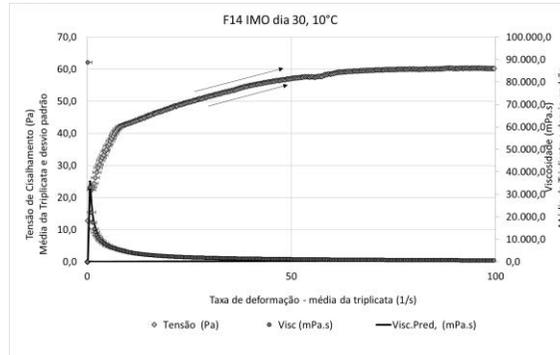
(k) IMO F11 30 dias



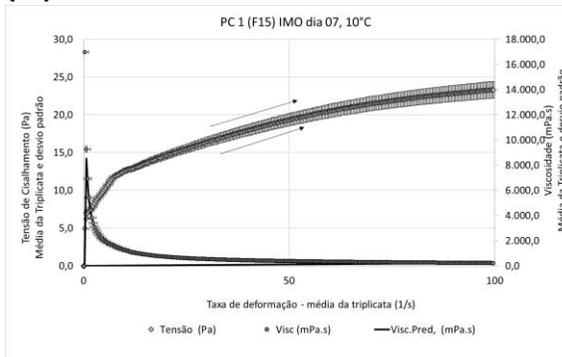
(l) IMO F12 30 dias



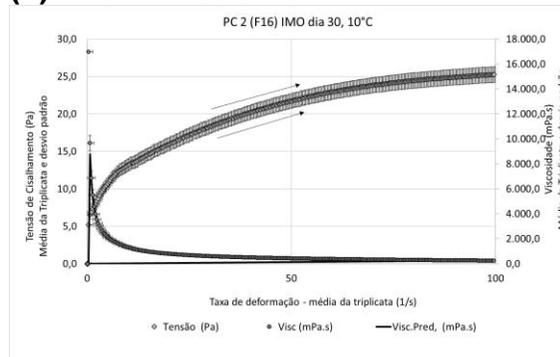
(m) IMO F13 30 dias



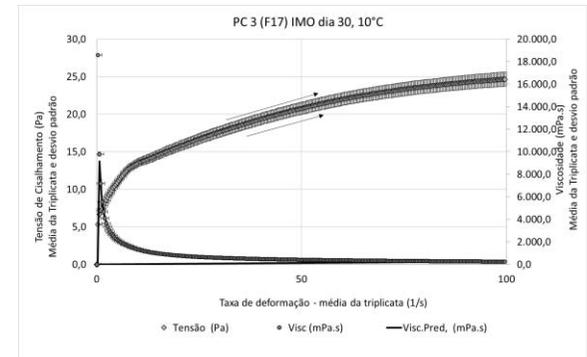
(n) IMO F14 30 dias



(o) IMO PC01 30 dias



(p) IMO PC02 30 dias



(q) IMO PC03 30 dias

Figura 88. Comportamento reológico – Amostras com fibra prebiótica IMO 30 dias após formulação à 10°C - Ajuste ao Modelo de Lei da Potência.

A **tabela 38**, contém os valores de **k(mPa)**, índice de viscosidade e **n**, comportamento de fluxo e **tabela 39**, viscosidade aparente (**mPa.s**) de todas as repetições e na **figura 88**, está a representação gráfica dessas repetições, todos referentes aos ensaios reológicos realizados nas formulações **IMO 45 dias** após sua formulação, todos os ensaios foram realizados na temperatura de 10°C.

Tabela 38. Parâmetros ajustados (Modelo de Lei da Potência) aos reogramas das amostras com fibra prebiótica IMO 45 dias após formulação à 10°C.

(a) IMO F01 45 dias						(b) IMO F02 45 dias					
Curva ascendente						Curva ascendente					
Rep.	Counter	K (mPa)	n	R ²	RSD(%)	Rep.	Counter	K (mPa)	n	R ²	RSD(%)
R1	555	2100.00	0.3443	0.9974	0.0757	R1	559	2213.90	0.3182	0.9981	0.0607
R2	556	2089.20	0.3445	0.9978	0.0710	R2	560	2284.50	0.3366	0.9972	0.0799
R3	557	1862.90	0.3536	0.9962	0.0940	R3	561	2200.40	0.3363	0.9970	0.0810
Média		2017.37	0.3475			Média		2232.93	0.3304		
DP		133.88	0.0053			DP		45.17	0.0105		
(c) IMO F03 45 dias						(d) IMO F04 45 dias					
Curva ascendente						Curva ascendente					
Rep.	Counter	K (mPa)	n	R ²	RSD(%)	Rep.	Counter	K (mPa)	n	R ²	RSD(%)
R1	562	1942.40	0.3645	0.9929	0.1634	R1	566	2190.90	0.3927	0.9984	0.0684
R2	563	2076.10	0.3614	0.9927	0.1628	R2	567	2212.60	0.3846	0.9970	0.1084
R3	564	2259.80	0.3641	0.9949	0.1353	R3	568	2173.20	0.3592	0.9920	0.1663
Média		2092.77	0.3633			Média		2192.23	0.3788		
DP		159.36	0.0017			DP		19.73	0.0175		
(e) IMO F05 45 dias						(f) IMO F06 45 dias					
Curva ascendente						Curva ascendente					
Rep.	Counter	K (mPa)	n	R ²	RSD(%)	Rep.	Counter	K (mPa)	n	R ²	RSD(%)
R1	570	12711.60	0.2207	0.9522	0.2283	R1	573	13072.00	0.2367	0.9646	0.2123
R2	571	12597.70	0.2188	0.9656	0.1918	R2	574	12560.60	0.2460	0.9767	0.1792
R3	572	11253.30	0.2504	0.9651	0.2215	R3	575	12141.50	0.2507	0.9781	0.1783
Média		12187.53	0.2300			Média		12591.37	0.2445		
DP		811.07	0.0177			DP		466.01	0.0071		
(g) IMO F07 45 dias						(h) IMO F08 45 dias					
Curva ascendente						Curva ascendente					
Rep.	Counter	K (mPa)	n	R ²	RSD(%)	Rep.	Counter	K (mPa)	n	R ²	RSD(%)
R1	576	24892.90	0.1860	0.8853	0.2988	R1	579	21293.90	0.1931	0.9757	0.1445
R2	577	20421.90	0.2203	0.9155	0.2977	R2	580	18828.20	0.2067	0.9893	0.1009
R3	578	19861.80	0.2186	0.9523	0.2223	R3	581	16206.70	0.2321	0.9841	0.1385
Média		21725.53	0.2083			Média		18776.27	0.2106		
DP		2757.28	0.0193			DP		2544.00	0.0198		
(i) IMO F09 45 dias						(j) IMO F10 45 dias					
Curva ascendente						Curva ascendente					
Rep.	Counter	K (mPa)	n	R ²	RSD(%)	Rep.	Counter	K (mPa)	n	R ²	RSD(%)
R1	582	5975.20	0.2887	0.9971	0.0701	R1	585	7555.30	0.2874	0.9708	0.2221
R2	583	6160.40	0.2879	0.9963	0.0788	R2	586	6704.30	0.2894	0.9902	0.1280
R3	584	6248.60	0.2808	0.9965	0.0790	R3	587	6385.50	0.2957	0.9935	0.1064
Média		6128.07	0.2858			Média		6881.70	0.2908		
DP		139.54	0.0043			DP		604.74	0.0043		
(k) IMO F11 45 dias						(l) IMO F12 45 dias					
Curva ascendente						Curva ascendente					
Rep.	Counter	K (mPa)	n	R ²	RSD(%)	Rep.	Counter	K (mPa)	n	R ²	RSD(%)
R1	588	5777.00	0.2624	0.9950	0.0849	R1	592	5997.10	0.2831	0.9951	0.1009
R2	589	5623.30	0.2620	0.9962	0.0737	R2	593	5806.80	0.2805	0.9932	0.1159
R3	590	5621.40	0.2757	0.9913	0.1181	R3	594	5806.50	0.2846	0.9946	0.1006
Média		5673.90	0.2667			Média		5870.13	0.2827		
DP		89.29	0.0078			DP		109.96	0.0021		
(m) IMO F13 45 dias						(n) IMO F14 45 dias					

Curva ascendente						Curva ascendente					
Rep.	Counter	K (mPa)	n	R ²	RSD(%)	Rep.	Counter	K (mPa)	n	R ²	RSD(%)
R1	595	712.40	0.4105	0.9929	0.1801	R1	598	21375.30	0.2316	0.9731	0.1807
R2	596	632.30	0.4243	0.9940	0.1612	R2	599	20839.90	0.2319	0.9851	0.1351
R3	597	755.40	0.4130	0.9866	0.2318	R3	600	18197.20	0.2530	0.9892	0.1241
Média		700.03	0.4159			Média		20137.47	0.2388		
DP		62.47	0.0074			DP		1701.51	0.0123		

(o) IMO PC01 45 dias						(p) IMO PC02 45 dias					
Curva ascendente						Curva ascendente					
Rep.	Counter	K (mPa)	n	R ²	RSD(%)	Rep.	Counter	K (mPa)	n	R ²	RSD(%)
R1	601	6335.30	0.2858	0.9977	0.0640	R1	604	5507.30	0.3037	0.9957	0.0879
R2	602	5978.80	0.3049	0.9960	0.0959	R2	605	5516.30	0.3144	0.9948	0.1020
R3	603	6274.00	0.2836	0.9983	0.0556	R3	606	5721.60	0.3080	0.9950	0.0964
Média		6196.03	0.2914			Média		5581.73	0.3087		
DP		190.61	0.0117			DP		121.21	0.0054		

(q) IMO PC03 45 dias					
Curva ascendente					
Rep.	Counter	K (mPa)	n	R ²	RSD(%)
R1	607	6040.40	0.2960	0.9958	0.0899
R2	608	6005.80	0.2943	0.9977	0.0638
R3	609	5945.20	0.2888	0.9968	0.0730
Média		5997.13	0.2930		
DP		48.19	0.0038		

Tabela 39. Viscosidades aparentes nas taxas de 50 e 100s⁻¹ (Modelo de Lei da Potência) – amostras com fibra prebiótica IMO 45 dias após formulação à 10°C.

(a) IMO F01 45 dias					(b) IMO F02 45 dias				
Tx. D (1/s)		Curva ascendente			Tx. D (1/s)		Curva ascendente		
Rep.	Counter	50	100		Rep.	Counter	50	100	
R1	555	161.51	102.52	η_{ap} (mPa.s)	R1	559	153.74	95.84	η_{ap} (mPa.s)
R2	556	160.81	102.09		R2	560	170.49	107.64	
R3	557	148.59	94.93		R3	561	164.02	103.54	
Média		156.97	99.85		Média		162.75	102.34	
DP		7.27	4.27		DP		8.44	5.99	

(c) IMO F03 45 dias					(d) IMO F04 45 dias				
Tx. D (1/s)		Curva ascendente			Tx. D (1/s)		Curva ascendente		
Rep.	Counter	50	100		Rep.	Counter	50	100	
R1	562	161.68	104.07	η_{ap} (mPa.s)	R1	566	203.63	133.67	η_{ap} (mPa.s)
R2	563	170.72	109.66		R2	567	199.23	130.05	
R3	564	187.80	120.86		R3	568	177.17	113.63	
Média		173.40	111.53		Média		193.34	125.78	
DP		13.27	8.55		DP		14.18	10.68	

(e) IMO F05 45 dias					(f) IMO F06 45 dias				
Tx. D (1/s)		Curva ascendente			Tx. D (1/s)		Curva ascendente		
Rep.	Counter	50	100		Rep.	Counter	50	100	
R1	570	602.83	351.24	η_{ap} (mPa.s)	R1	573	659.96	388.81	η_{ap} (mPa.s)
R2	571	593.00	345.06		R2	574	657.64	389.95	
R3	572	599.42	356.52		R3	575	647.49	385.19	
Média		598.42	350.94		Média		655.03	387.98	
DP		4.99	5.74		DP		6.63	2.49	

(g) IMO F07 45 dias					(h) IMO F08 45 dias				
----------------------------	--	--	--	--	----------------------------	--	--	--	--

Curva ascendente				Curva ascendente			
Tx. D (1/s)		50	100	Tx. D (1/s)		50	100
Rep.	Counter	ηap (mPa.s)	ηap (mPa.s)	Rep.	Counter	ηap (mPa.s)	ηap (mPa.s)
R1	576	1030.66	586.24	R1	579	906.48	518.15
R2	577	966.96	563.24	R2	580	845.31	487.76
R3	578	934.21	543.52	R3	581	803.63	471.95
Média		977.28	564.34	Média		851.80	492.62
DP		49.04	21.38	DP		51.73	23.48

(i) IMO F09 45 dias				(j) IMO F10 45 dias			
Tx. D (1/s)		50	100	Tx. D (1/s)		50	100
Rep.	Counter	ηap (mPa.s)	ηap (mPa.s)	Rep.	Counter	ηap (mPa.s)	ηap (mPa.s)
R1	582	369.72	225.81	R1	585	465.12	283.83
R2	583	379.99	231.96	R2	586	415.97	254.19
R3	584	374.87	227.71	R3	587	406.08	249.23
Média		374.86	228.49	Média		429.06	262.41
DP		5.13	3.15	DP		31.62	18.71

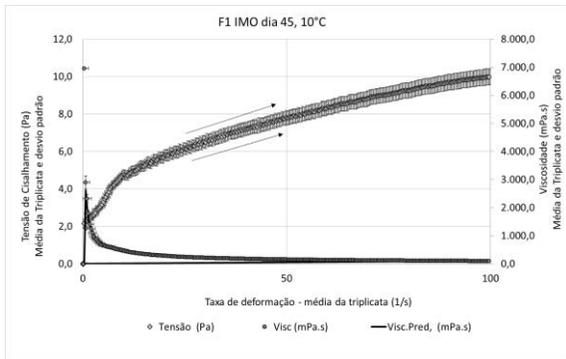
(k) IMO F11 45 dias				(l) IMO F12 45 dias			
Tx. D (1/s)		50	100	Tx. D (1/s)		50	100
Rep.	Counter	ηap (mPa.s)	ηap (mPa.s)	Rep.	Counter	ηap (mPa.s)	ηap (mPa.s)
R1	588	322.51	193.42	R1	592	363.04	220.87
R2	589	313.44	187.93	R2	593	347.96	211.32
R3	590	330.58	200.10	R3	594	353.57	215.33
Média		322.18	193.82	Média		354.85	215.84
DP		8.58	6.10	DP		7.62	4.80

(m) IMO F13 45 dias				(n) IMO F14 45 dias			
Tx. D (1/s)		50	100	Tx. D (1/s)		50	100
Rep.	Counter	ηap (mPa.s)	ηap (mPa.s)	Rep.	Counter	ηap (mPa.s)	ηap (mPa.s)
R1	595	70.99	47.18	R1	598	1057.85	621.03
R2	596	66.50	44.62	R2	599	1032.56	606.31
R3	597	76.01	50.60	R3	600	979.21	583.45
Média		71.17	47.47	Média		1023.21	603.60
DP		4.76	3.00	DP		40.15	18.94

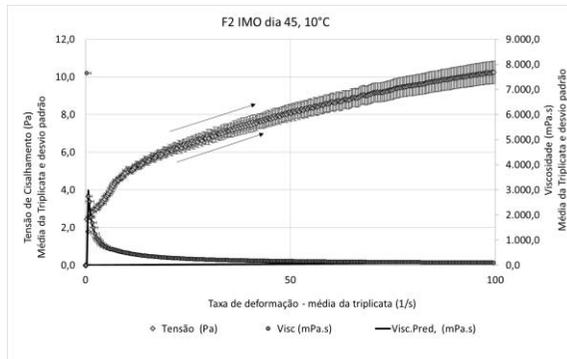
(o) IMO PC01 45 dias				(p) IMO PC02 45 dias			
Tx. D (1/s)		50	100	Tx. D (1/s)		50	100
Rep.	Counter	ηap (mPa.s)	ηap (mPa.s)	Rep.	Counter	ηap (mPa.s)	ηap (mPa.s)
R1	601	387.58	236.25	R1	604	361.36	223.02
R2	602	394.15	243.45	R2	605	377.43	234.66
R3	603	380.54	231.60	R3	606	381.80	236.33
Média		387.42	237.10	Média		373.53	231.34
DP		6.80	5.97	DP		10.76	7.25

(q) IMO PC03 45 dias			

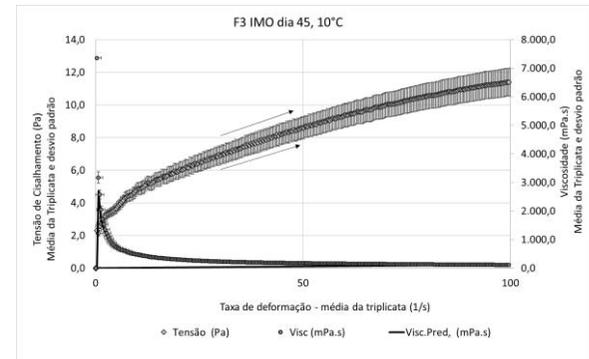
Tx. D (1/s)	Counter	Curva ascendente	
		50	100
Rep.		η_{ap} (mPa.s)	η_{ap} (mPa.s)
R1	607	384.58	236.08
R2	608	379.85	232.90
R3	609	368.01	224.78
Média		377.48	231.26
DP		8.54	5.83



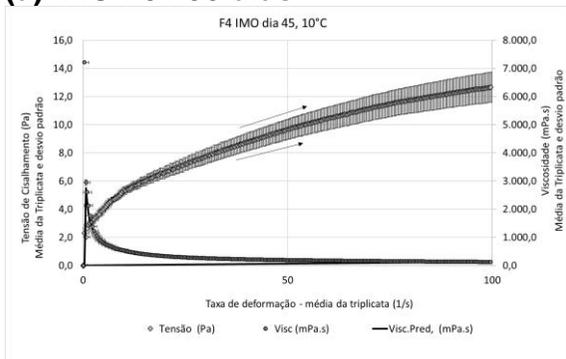
(a) IMO F01 30 dias



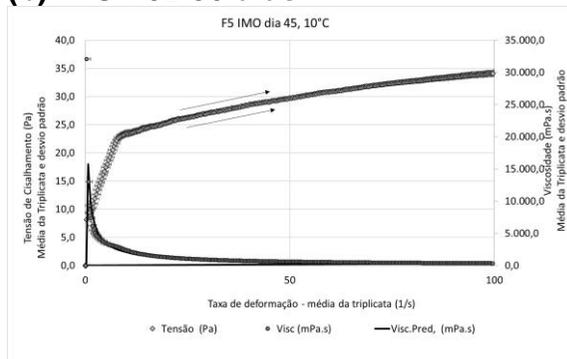
(b) IMO F02 30 dias



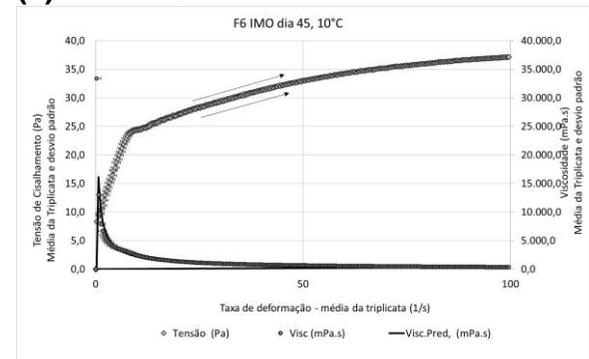
(c) IMO F03 30 dias



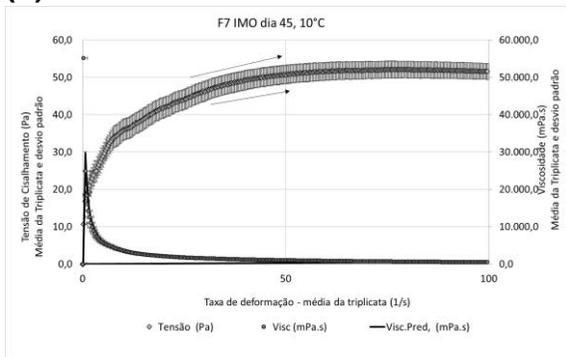
(d) IMO F04 30 dias



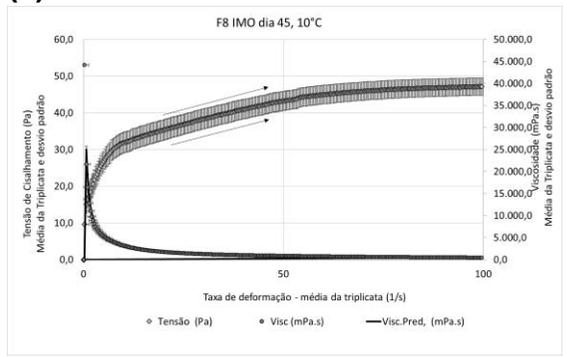
(e) IMO F05 30 dias



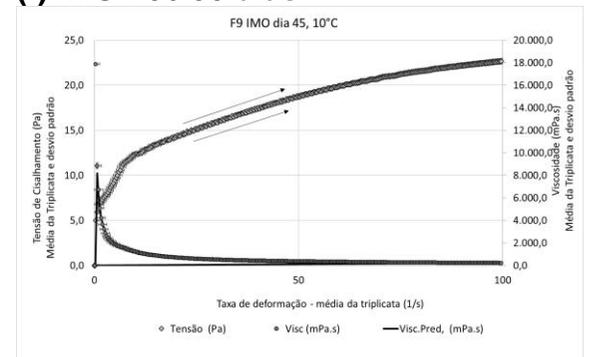
(f) IMO F06 30 dias



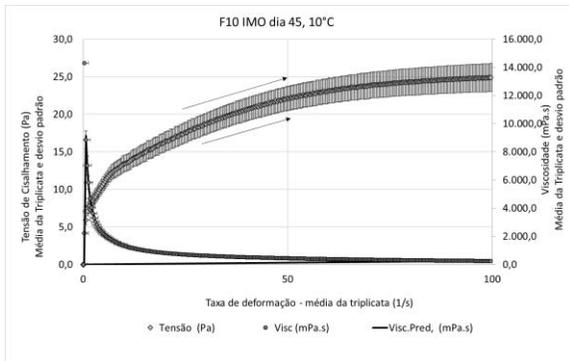
(g) IMO F07 30 dias



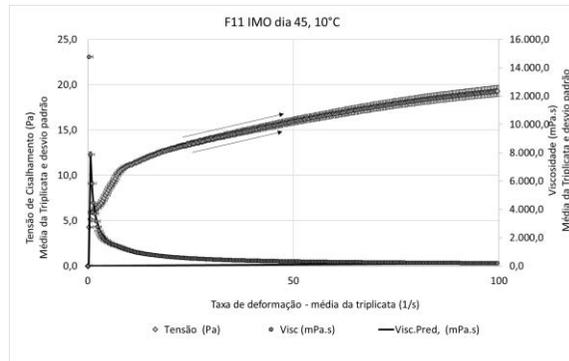
(h) IMO F08 30 dias



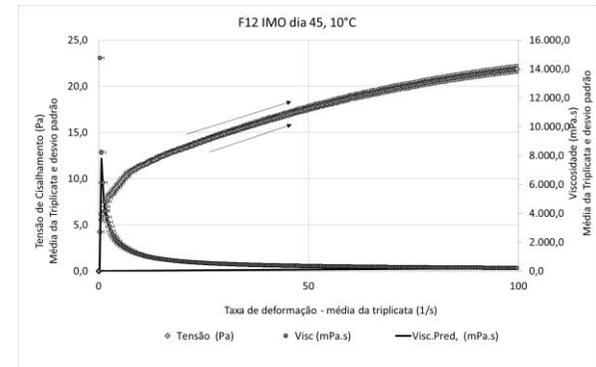
(i) IMO F09 30 dias



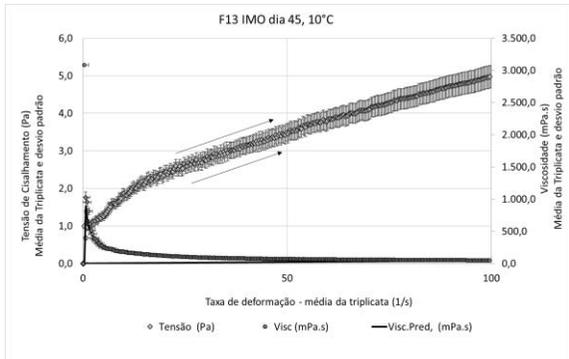
(j) IMO F10 30 dias



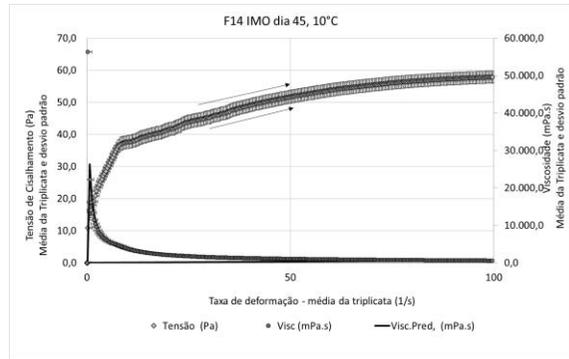
(k) IMO F11 30 dias



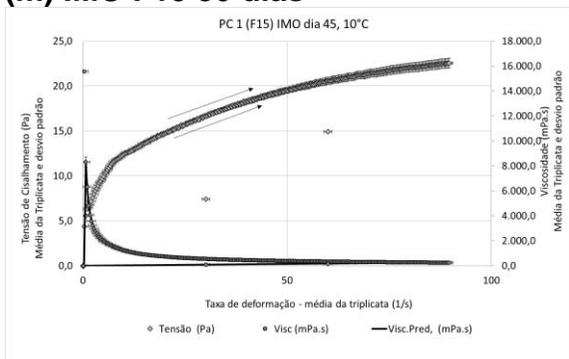
(l) IMO F12 30 dias



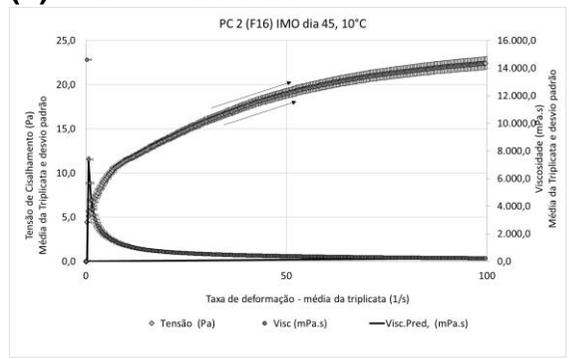
(m) IMO F13 30 dias



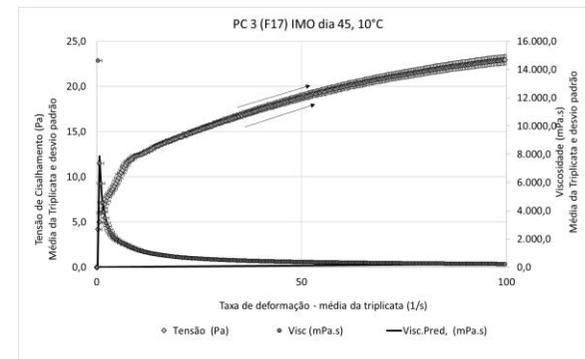
(n) IMO F14 30 dias



(o) IMO PC01 30 dias



(p) IMO PC02 30 dias



(q) IMO PC03 30 dias

Figura 89. Comportamento reológico – Amostras com fibra prebiótica IMO 45 dias após formulação à 10°C - Ajuste ao Modelo de Lei da Potência.

