



DOI: 10.31416/rsdv.v13i2.1129

Quadro da Análise Estatística Implicativa aplicado ao estudo bioquímico em nutrição animal e viabilidade representacional de fenômenos bioquímicos e fisiológicos por grafos implicativos

Framework of Implicit Statistical Analysis applied to biochemical studies in animal nutrition and the representational viability of biochemical and physiological phenomena by implicative graphs

SANTOS DE AQUINO, Rafael. Doutor em Science de l'Éducation et de la Formation

Instituto Federal do Sertão Pernambucano - Campus Salgueiro. BR 232, Km 504, Sentido Recife, Zona Rural - Salgueiro - PE - Brasil. CEP: 56000-000 / Telefone: (81) 99805-8445 / E-mail: rafael.aquino@ifsertao-pe.edu.br / Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-8976-2540>

SILVA, Edmilson Gomes. Mestre em Zootecnia

Instituto Federal do Sertão Pernambucano - Campus Salgueiro. BR 232, Km 504, Sentido Recife, Zona Rural - Salgueiro - PE - Brasil. CEP: 56000-000 / Telefone: (81) 99732-9486 / E-mail: edmilson.gomes@ifsertao-pe.edu.br / Orcid: <https://orcid.org/0009-0006-4206-4119>

LIMA, Rodrigo da Silva. Mestre em Ciência Animal e Pastagens

Instituto Federal do Sertão Pernambucano - Campus Salgueiro. BR 232, Km 504, Sentido Recife, Zona Rural - Salgueiro - PE - Brasil. CEP: 56000-000 / Telefone: (87) 98168-7570 / E-mail: rodrigo.lima@ifsertao-pe.edu.br / Orcid: <https://orcid.org/0009-0003-1048-3448>

GOMES, José Almir Ferreira. Mestre em Zootecnia

Instituto Federal do Sertão Pernambucano - Campus Salgueiro. BR 232, Km 504, Sentido Recife, Zona Rural - Salgueiro - PE - Brasil. CEP: 56000-000 / Telefone: (88) 99605-1064 / E-mail: almir.gomes@ifsertao-pe.edu.br / Orcid: <https://orcid.org/0009-0009-1706-7715>

RESUMO

O objetivo desta pesquisa foi verificar a viabilidade do uso da ASI sobre os mesmos dados bioquímicos de um estudo que utilizou a Anova e testar a hipótese de que a ASI contribui para a compreensão dos processos bioquímicos através dos grafos implicativos. Os resultados mostraram que a suplementação elevou significativamente as concentrações de biomoléculas essenciais, como proteínas, gordura e lactose, melhorando a qualidade do leite. O quadro teórico da Análise Estatística Implicativa (ASI) foi utilizada como ferramenta inovadora, revelando relações complexas entre variáveis que as análises tradicionais não capturariam. Esse quadro metodológico ASI permitiu compreender melhor as relações entre as altas concentrações de glutamina sérica e o aumento da lactose, além do impacto do glutamato na síntese de gordura do leite de porcas. Os grafos implicativos possuem potencial para a criação de representações gráficas de reações bioquímicas e processos fisiológicos.

Palavras-chave: A.S.I., Nutrição Animal, Metabolismo, Suinocultura, Zootecnia.

ABSTRACT



The aim of this research was to verify the feasibility of using ASI on the same biochemical data as a study that used Anova and to test the hypothesis that ASI contributes to understanding biochemical processes through implicit graphs. The results showed that supplementation significantly increased the concentrations of essential biomolecules such as protein, fat and lactose, improving milk quality. The theoretical framework of the Implicit Statistical Analysis (ISA) was used as an innovative tool, revealing complex relationships between variables that traditional analyses would not capture. This methodologic framework allowed us to better understand the relations between high serum glutamine concentrations and increased lactose, as well as the impact of glutamate on sow milk fat synthesis. Implicative graphs have the potential to create graphical representations of biochemical reactions and physiological processes.

Keywords: S.I.A., Animal Nutrition, Metabolism, Pig Breeding, Zootechny.

INTRODUÇÃO

A bioquímica é um campo fundamental nas ciências biológica, da saúde e nas ciências agrárias como na zootecnia e veterinária, pois é um quadro teórico para investigar as interações moleculares que sustentam os processos vitais nos organismos vivos. No entanto, a análise tradicional de dados bioquímicos frequentemente se limita a métodos estatísticos convencionais, como ANOVA e regressão, que, embora tenham suas utilidades, limitam a captura da complexidade das interações biológicas, bioquímicas, biofísicas e físico-químicas.

Comumente esta abordagem é realizada de forma reducionista, que não considera em sua plenitude as múltiplas variáveis inter-relacionadas e os efeitos não-lineares que caracterizam os fenômenos bioquímicos necessitando de um controle experimental por vezes inalcançável e não condizente com a realidade multifatorial. Dessa forma, é crucial a adoção de novos paradigmas analíticos que contemplem a complexidade das redes de interação, promovendo uma visão mais integrativa e holística dos fenômenos biológicos.

Considera-se a Análise Estatística Implicativa - ASI como um quadro teórico de análise de dados baseados na busca das relações não-simétricas entre variáveis binárias ou variáveis modais e com um critério probabilístico (ASI, 2024).

Nessa perspectiva, para Andrade e Régner (2020) o quadro da Análise Estatística Implicativa (ASI) apresenta-se como promissor, capaz de explorar quase-implicações causais entre variáveis e pode integrar dados multidimensionais de forma eficaz. A ASI permite identificar relações complexas que podem não ser evidentes em análises unidimensionais (Santos de Aquino et al. 2021; Santos et al. 2021), contribuindo para a compreensão mais profunda do funcionamento biológico e da relevância das interações moleculares, especialmente em contextos como a bioquímica.

Porém, a natureza implicativa da ASI, em que os grafos implicativos expressam ao leitor as relações de tendências entre as variáveis, muito se assemelha às representações gráficas bioquímicas. Sumariamente, tais reações ocorrem entre uma molécula e outra resultando em um novo produto. Essa semelhança nos faz perceber a possibilidade de que a ASI, além de permitir um novo olhar sobre os estudos bioquímicos, pode contribuir semioticamente com a compreensão da bioquímica.

Santos de Aquino et al. (2021) afirmam que estudos recentes têm demonstrado a eficácia da ASI em diversas áreas como psicologia, ensino de ciências, computação, matemática, estatística, artes dentre outros. Porém, ainda necessita ser explorada em análise de dados em outras áreas, como na bioquímica e na zootecnia. Assim,



este texto propõe um estudo sobre dados de uma pesquisa na área de zootecnia realizado sob a utilização da ANOVA para análise estatística sobre dados referentes a suplementação de 1,5% de glutamina e glutamato na dieta de porcas lactantes. O objetivo deste estudo foi verificar a viabilidade do uso da ASI sobre os mesmos dados bioquímicos de um estudo que utilizou a Anova e testar a hipótese de que a ASI contribui para a compreensão dos processos bioquímicos através dos grafos implicativos.

Bioquímica e complexidade restrita a uma abordagem estatística

A tradicional dependência de métodos estatísticos convencionais tem suas raízes na simplificação e previsibilidade, características do pensamento cartesiano que predominam na ciência ocidental. Essa abordagem, embora eficaz para alguns experimentos controlados, necessita ser revista não para que seja substituída, mas para que seja considerada como uma possibilidade analítica estatística em vez de ser considerada a única possibilidade. Para Santos de Aquino et al. (2021) a Análise de Variância (Anova) permite explorar as relações entre fatores controlados em um experimento e uma única resposta e, em particular, pode separar formalmente a variabilidade nas respostas entre as diferentes amostras.

Além disso, Bertinnetto et al. (2020) afirmam que a Anova pode contribuir para um padrão característico quando todas as respostas são consideradas simultaneamente, sendo chamada de vantagem multivariada, enriquecendo a análise do objeto de pesquisa. Isso demonstra uma proximidade com a complexidade devido a consideração de diversos fatores e variáveis.

A aplicação rígida de modelos estatísticos tidos como únicos pode levar à perda de informações cruciais sobre as interações complexas entre biomoléculas e os fatores fisiológicos, genéticos, ecológicos e físico-ambientais. Esta simplificação inadequada impede uma compreensão holística dos processos bioquímicos, pois ignora as múltiplas variáveis inter-relacionadas e os efeitos não-lineares que muitas vezes estão presentes.

A bioquímica é inerentemente interdisciplinar, envolvendo elementos de química, biologia, física e outras ciências. No entanto, a aplicação restrita de análises estatísticas tradicionais tende a reforçar compartimentalizações que são contrárias à natureza integrada do campo.

Nesse contexto, a Análise Estatística Implicativa (ASI) se apresenta como uma alternativa robusta. A ASI permite uma visão mais abrangente, ao focar nas relações não-simétricas entre variáveis e integrando de forma mais eficaz dados multidimensionais. Para Santos de Aquino et al. (2021) o quadro teórico da ASI propõe uma mudança de paradigma, desconstruindo a visão linear e restritiva para uma abordagem que considera a complexidade. De acordo com Santos de Aquino (2022), a ASI pode revelar padrões ocultos em dados que as análises tradicionais poderiam falhar em capturar, ao permitir que os pesquisadores observem como as variáveis interagem em um contexto mais amplo e interdependente.

Inclusive, “a aplicação de uma metodologia analítica multimétodo, inclusive multiquantitativa no tocante ao uso simultâneo da ASI e da ANOVA, essa temática requer maior ampliação de estudos e consequentes aprofundamentos” (Santos de Aquino et al., 2021, p. 186).

No trabalho em que Santos de Aquino et al. (2021) realizaram sobre utilização concomitante da Anova e ASI, foi possível determinar algumas características entre esses dois métodos estatísticos em que se verificou a complementariedade desses



métodos por permitir naturezas analíticas diferentes (quadro 1).

Quadro 1 - Características dos métodos estatísticos Anova e ASI.

Características	Análise de Variância - Anova	Análise Estatística Implicativa
Natureza interpretativa	Quantitativo absolutista	Quantitativo probabilístico
Interpretação do resultado	Determinista	Possibilista
Confiabilidade	Significância (P-valor)	Tendência (índice de quase-implicação)
Referência espacial	Posição	Percurso
Natureza descritiva	Estática (retrato)	Cinética (filmográfico)

Fonte: Santos de Aquino et al. (2021).

É essencial, portanto, a promoção de uma mudança de paradigma nas pesquisas em bioquímica. A adoção do paradigma da complexidade e a implementação da ASI como ferramenta analítica não são apenas desejáveis, mas necessárias. Essa mudança poderia possibilitar uma compreensão mais completa dos fenômenos bioquímicos, alinhando melhor a pesquisa bioquímica com a natureza interconectada e multidimensional da vida.

MATERIAIS E MÉTODOS

Pesquisa empírica de natureza experimental e quantitativa.

Animais e local

Trinta matrizes suínas híbridas da linhagem C40 Daland Topigs foram distribuídas em dois grupos experimentais (Controle e Dieta Suplementada com 1,5% de AminoGut) cada um com 15 animais sendo distribuídos em função do número de partos: três fêmeas de cada grupo com dois partos, três com três partições, uma com quatro, duas como cinco, uma com seis e cinco com sete partos. Os animais utilizados foram do rebanho comercial suíno da Granjita LTDA, em Paudalho, Zona da Mata do Estado de Pernambuco, Brasil. O experimento foi realizado de setembro a outubro de 2010.

Uma semana antes da data prevista para o parto, as porcas foram transferidas para gaiolas de parto individuais e o peso corporal (estimado por meio de um método biométrico baseado na circunferência torácica e comprimento do corpo, Manso et al., 2012) foi de 298 ± 12 e 293 ± 11 kg e espessura de toucinho (ultrassom) foi $20,7 \pm 0,6$ e $13,0 \pm 0,2$ mm ($p < 0,05$), para Controle e AminoGut, respectivamente.

A temperatura na sala de parto variou entre 22°C e 34°C , com umidade relativa média entre 43% e 97%. O início do experimento se deu em uma semana antes da data prevista para o parto, as porcas receberam a dieta de gestação (Tabela 1) ou a mesma dieta suplementada com glutamina e glutamato (AminoGut - 1,5% p/p, Ajinomoto Biolatina, São Paulo, Brasil) que foi misturada manualmente em rações individuais.

A dieta de gestação foi fornecida com 2,5 kg por dia antes do parto, após o qual, a dieta foi alterada para a fórmula Lactação, com ou sem AminoGut, e o total diário de ração aumentou gradualmente para 6 kg por dia até o sétimo dia de lactação. Todas as dietas foram fornecidas em três porções iguais por dia, às 7h00, 13h30 e 18h00. Todas as dietas foram consumidas completamente por todas as porcas, não foram usados e, portanto, os leitões só tiveram acesso ao leite materno. A água



estava disponível *ad libitum*.

O experimento foi continuado até o 21º dia de lactação, com cada porca representando uma única unidade experimental. Todos os procedimentos com animais foram aprovados pelo CEUA-Comitê de Ética de Utilização de Animais/UFRPE (Universidade Federal Rural de Pernambuco).

Caracterização amostral

As rações experimentais foram a base de milho, farelo de trigo e farelo de soja, no final da fase de gestação e de milho e farelo de soja para a fase de lactação conforme descrição na Tabela 1. O fornecimento da ração de gestação, na quantia de 2,5 kg por dia, ocorreu nos sete dias antes do parto. A ração de lactação teve o fornecimento realizado três vezes ao dia (7h, 13h30min e às 19h) e um aumento gradativo da quantidade até o sétimo dia de lactação quando era fornecido em média 6 kg de ração de lactação por matriz por dia, o fornecimento foi manual em comedouros individuais e a água era fornecida à vontade.

O grupo Controle recebeu as rações sem suplementação de AminoGut, e ao grupo AminoGut adicionada à ração na proporção de 1,5% de L-glutamina e L-ácido glutâmico e correspondendo a 15g de suplemento aminoacídico por quilograma de ração consumida adicionado manualmente à ração para evitar perdas.

Tabela 1 - Composição centesimal e nutricional das rações utilizadas nos tratamentos Controle e AminoGut® nas fases de gestação e lactação.

Composição Centesimal	Gestação		Lactação	
	Controle	Aminogut	Controle	Aminogut
Milho (%)	55,5000	55,5000	62,0000	62,0000
Farelo de Trigo (%)	29,4000	31,8900	-	-
Farelo de Soja 45% (%)	10,3200	8,3800	30,2000	30,0000
Óleo de Soja (%)	0,5000	-	3,5100	3,5100
Calcário Calcítico (%)	0,8600	0,8600	0,8000	0,8000
Fosfato Bicálcico (%)	1,3400	1,3400	1,1260	1,2260
Sal (%)	0,4270	0,4270	0,3800	0,4800
Premix (%) Vitamínico/Mineral (%)	0,1500	0,1000	0,1500	0,1500
Metionina M.H.A. (Líquida) (%)	-	-	0,0980	0,0980
Lisina (%)	-	-	0,1410	0,1410
Treonina (%)	-	-	0,0270	0,0270
Cloreto de Colina 75% (%)	-	-	0,0650	0,0650
Inerte	1,5000	-	1,5000	-
Aminogut	-	1,5000	-	1,5000
Ronozyme NP - Fitase 10.000 (%)	0,0030	0,0030	0,0030	0,0030
Total (%)	100	100	100	100
Calculado				
Energia Digestível (kcal/kg)	3.0112	3.0056	3,4925	3.4857
Proteína Bruta %	14,5188	14,9472	19,4695	20,2785
Fibra Bruta %	4,3304	4,4389	2,9968	2,9850
Cálcio %	0,8945	0,8915	0,8457	0,8698
Fósforo Disponível %	0,4922	0,4957	0,4103	0,4284



Lisina Digestível %	0,5025	0,4665	0,9754	0,9705
Met. + Cist. Digestível %	0,4310	0,4193	0,6381	0,6358
Treonina Digestível %	0,4036	0,3830	0,6423	0,6393
Sódio %	0,2028	0,2023	0,1900	0,2295

Premix vitamínico-mineral por quilograma do produto ou 0,1% na composição centesimal: Iodo (I) 1.500 mg, Cobalto (Co) 1.000 mg, Cobre (Cu) 10.000 mg, Zinco (Zn) 10.000 mg, Manganês (Mn) 40.000 mg; Vitamina A - 8.500.000 UI, Vitamina D3 - 1.300.000 UI, Vitamina E - 20.000 mg, Vitamina K3 - 2.000 mg, Tiamina - 2.000 mg, Riboflavina - 5.000 mg, Pirodoxina - 1.600 mg, Vitamina B12 - 25.000 mg, Niacina - 40.000 mg, Pantotenato de cálcio - 15.000 mg, Biotina - 120 mg, Selênio - 150 mg, Antioxidante - 30.000 mg, Fitase 10.000 - Ronozyme: Energia Metabolizável Aparente (EMA) 266.667 kcal, Proteína Bruta (PB) 1.333%, Lisina Total e Digestível 60%, Metionina Total e Digestível 20%, Met. + Cis. Total e Digestível 33%, Treonina total e Digestível 33%, Arginina Total e Digestível 60%, Valina total e Digestível 40%, Isoleucina total e Digestível 53%.

Coleta e análise de sangue, de colostro e leite na matriz suína

As coletas de sangue foram feitas nos dias do parto, após o fornecimento de colostro para toda a leitegada, depois, ao sétimo dia de lactação e no dia do desmame. Perfazendo três tempos distintos: ao parto, sete dias pós-parto, e ao desmame (21 dias de lactação).

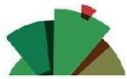
O sangue foi coletado numa das veias da região auricular utilizando-se tubos vacutainer heparinizados (BD, 7,0 mL). Após a coleta, o sangue foi centrifugado, para separação do plasma, em seguida foi resfriado, imediatamente, desproteínezado em solução de ácido perclórico (PCA) a 10% e neutralizado com 1,0 M de hidróxido de potássio (KOH). As amostras foram acondicionadas à -20°C para leitura no espectrofotômetro com comprimento de onda 340 nm, para determinação das concentrações de glutamina e glutamato.

O protocolo experimental para análise de glutamina e glutamato livres no plasma foi realizado conforme descrito em Santos de Aquino et al. (2014).

Coleta e análise do leite de porcas

Nos dias 1 (dia do nascimento), 7 (uma semana após o nascimento) e 21 (desmame), amostras de colostro (colostro coletado logo após o nascimento do último leitão) ou leite (40 mL) foram coletadas das tetas peitorais. O leite foi coletado pelo menos uma hora após a alimentação das 7h e antes da alimentação das 13h. Para facilitar a coleta de leite, a ocitocina (0,5 ml de Prolacton®, Tortuga) foi injetada na veia da orelha e o leite foi coletado aproximadamente um minuto depois. As amostras foram imediatamente resfriadas em gelo para análise de células e de compostos próximos ou desproteínezadas com um volume igual de ácido perclórico a 10% (v/v), seguido de neutralização antes da análise de aminoácidos.

As análises de compostos, proteína total, lipídios, lactose e sólidos totais foram realizadas no Laboratório do Programa de Gestão dos Rebanhos Leiteiros do Nordeste (PROGENE), UFRPE, usando espectroscopia de infravermelho transformada de Fourier (FTIR) (Bentley 2000 Lactoscooper®), conforme documentado para a determinação da composição do leite (Lynch et al., 2006; Rodriguez-Saona e Allendorf, 2011), gordura do leite (Soyeurt et al. 2006) e proteína do leite (Bonfatti et al., 2011a,b; Díaz-Carrillo et al., 1993; De Marchi et al., 2009,a,b). A contagem de células somáticas (CCS) foi determinada pelo método Fossomatic CCS (FSCC) usando citometria de fluxo de fluorescência (SomaScope MKII/Somacount 300®,



Delta Instruments), conforme validado por Gonzalo et al. (2004) para leite de vaca. A glutamina foi determinada como glutamato após hidrólise com glutaminase, e o glutamato foi determinado enzimaticamente (glutamato desidrogenase), conforme descrito anteriormente (Manso, et al., 2012).

Organização e tratamento de dados no quadro teórico da A.S.I.

Para aplicação da ASI, os dados referentes aos níveis bioquímicos séricos (concentração de glutamina e glutamato livres) e de colostro e leite (percentuais de gordura, proteína, lactose e sólidos totais mais a concentração de células somáticas por mL de leite) foram padronizados em cinco ranques de concentração: Muito Baixo, Baixo, Médio, Alto e Muito Alto. Na tabela 2 apresenta-se o ranqueamento e as respectivas unidades dos valores.

Tabela 2 - Classificação dos níveis bioquímicos do leite e do sangue.

Elemento bioquímico	Muito Baixo	Baixo	Médio	Alto	Muito Alto
Gordura (%)	4,27 - 4,97	4,98 - 5,68	5,69 - 6,39	6,40 - 7,10	7,11 - 7,81
Proteína (%)	4,42 - 5,44	5,45 - 6,47	6,48 - 7,50	7,51 - 8,53	8,54 - 9,24
Lactose (%)	3,09 - 3,62	3,63 - 4,16	4,17 - 7,70	4,71 - 5,24	5,25 - 5,78
Sólidos Totais (%)	6,24 - 9,00	9,01 - 11,77	11,78 - 14,54	14,55 - 17,31	17,32 - 20,08
CCS (1.000xcel/mL)	260,48 - 322,46	322,47 - 384,45	384,46 - 410,44	410,45 - 472,43	472,44 - 534,42
Glutamina livre no leite (µmol/mL)	0,13 - 0,41	0,42 - 0,70	0,71 - 0,98	0,99 - 1,27	1,28 - 1,56
Glutamato livre no leite (µmol/mL)	0,22 - 0,33	0,34 - 0,45	0,46 - 0,57	0,58 - 0,69	0,70 - 0,81
Glutamina livre no sangue (µmol/mL)	0,47 - 0,53	0,54 - 0,60	0,61 - 0,67	0,68 - 0,74	0,75 - 0,81
Glutamato livre no sangue (µmol/mL)	0,25 - 0,28	0,29 - 0,32	0,33 - 0,36	0,37 - 0,40	0,41 - 0,44

Fonte: autoria própria.

Para compreensão dos dados foram produzidos grafos implicativos sob o índice de quase-implicação a partir de 0,60 até 0,69 que correspondem a vetores cinzas; índices de quase-implicação a partir de 0,70 até 0,79 correspondem aos vetores na cor verde; vetores azuis correspondem a índices de quase-implicação a partir de 0,80 até 0,89; e vetores vermelhos são representam índices de quase-implicação igual ou superior a índices de quase-implicação de 0,90.

O cálculo para tratamento da ASI considerou a teórica clássica com a Lei Binomial e a marcação dos nós significativos. Os dados numéricos relacionado às concentrações bioquímicas séricas e do leite foram agrupados em quatro níveis: baixo, médio, alto e muito alto. Cada elemento bioquímico apresenta peculiaridades de concentração. Essas variáveis foram modeladas na forma de variáveis modais.

**Quadro 2 - Variáveis consideradas na Análise Estatística Implicativa - ASI e que aparecerão nos grafos implicativos**

Grupo	Variável	Descrição	
Tratamento Experimental	Controle	Grupo teste controle.	
	AminoGut	Grupo teste suplementação 1,5% de AminoGut na dieta.	
Variáveis séricas	GLN_Ser_Alta_Dia7	Alta concentração sérica de glutamina livre ao 7º dia de lactação.	
	GLN_Ser_Alta_Dia21	Alta concentração sérica de glutamina livre ao 21º dia de lactação.	
	GLN_Muito_Alta_Dia21	Muito alta concentração sérica de glutamina livre ao 21º dia de lactação.	
	GLU_Ser_Alto_Dia0	Alta concentração sérica de glutamato livre no dia do parto.	
	GLU_Ser_Muito_Baixo_Dia21	Muito baixa concentração sérica de glutamato livre ao 21º dia de lactação.	
	GLU_Ser_Alto_Dia21	Alta concentração sérica de glutamato livre ao 21º dia de lactação.	
Variáveis do leite	GLN_Muito_Baixa_Dia21	Muito baixa concentração de glutamina livre no leite ao 21º dia de lactação.	
	GLN_Baixa_Dia21	Baixa concentração de glutamina livre no leite ao 21º dia de lactação.	
	GLN_Alta_Dia21	Alta concentração de glutamina livre no leite ao 21º dia de lactação.	
	GLN_Muito_Alta_Dia21	Muito alta concentração de glutamina livre no leite ao 21º dia de lactação.	
	GLU_Alto_Dia21	Alta concentração de glutamato livre no leite ao 21º dia de lactação.	
	GOR_Muito_Alta_Dia0	Muito alto teor de gordura no colostro no dia do parto.	
	GOR_Alta_Dia7	Alto teor de gordura no leite ao 7º dia de lactação.	
	GOR_Média_Dia21	Médio teor de gordura no leite ao 21º dia de lactação.	
	GOR_Alta_Dia21	Alto teor de gordura no leite ao 7º dia de lactação.	
	PRO_Baixa_Dia0	Baixo teor de proteína no colostro no dia do parto.	
	PRO_Media_Dia0	Médio teor de proteína no colostro no dia do parto.	
	PRO_Alta_Dia0	Alto teor de proteína no colostro no dia do parto.	
	PRO_Baixa_Dia21	Baixo teor de gordura no leite ao 21º dia de lactação.	
	SOL_Alta_Dia21	Alto teor de sólidos totais no leite ao 21º dia de lactação.	
	LAC_Alta_Dia7	Alto teor de lactose ao 7º dia de lactação.	
	LAC_Muito_Alta_Dia7	Muito alto teor de lactose ao 7º dia de lactação.	
	LAC_Alta_Dia21	Alto teor de lactose ao 21º dia de lactação.	
	CCS_Muito_Alta_Dia7	Muito alto índice de CCS (Contagem de Células Somáticas) ao 7º dia de lactação.	
	Variáveis do animal	Ate_3Partos	Porcas com até três partos.
		4_a_7Partos	Porcas múltiparas com quatro a sete partos.

Fonte: autoria própria.

Utilizou-se o Microsoft Paint3D para a proposição de um modelo de ilustração bioquímica e fisiológica animal pautada no grafo implicativo.

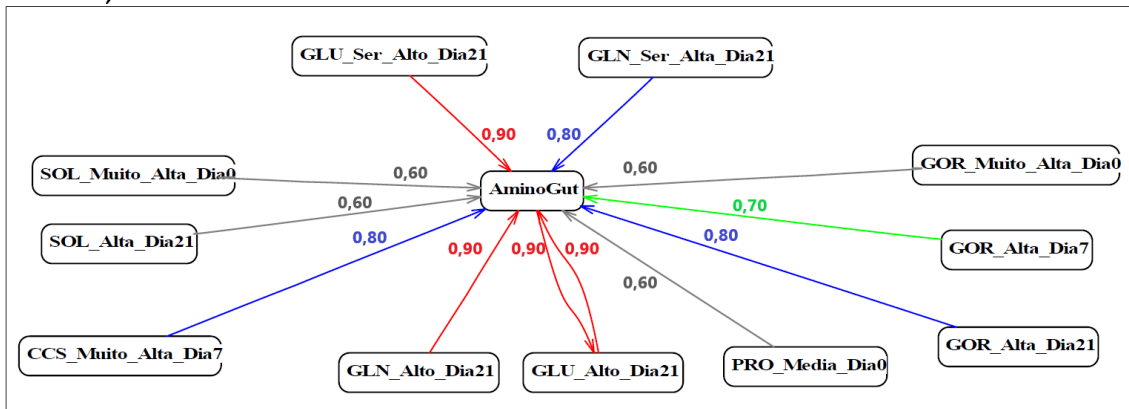
RESULTADOS E DISCUSSÃO

Serão apresentadas duas sessões analíticas, uma sobre a viabilidade de análise dos dados bioquímicos relacionados à nutrição animal à luz da ASI e outra sobre o potencial da utilização da ASI para a representação de vias metabólicas para auxílio na compreensão de dados e como instrumento didático no processo de ensino e aprendizagem.

Análise bioquímica na nutrição animal

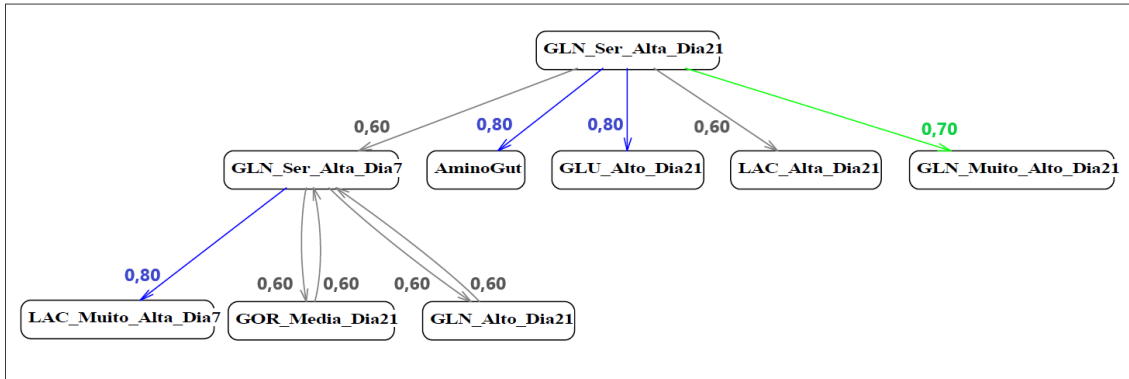
A figura 1, nos mostra o grafo implicativo tipo cone da variável que representa a suplementação dietária de 1,5% de AminoGut (AminoGut) e as relações implicativas com outras variáveis do estudo vinculadas aos valores bioquímicos séricos e lácteos. A suplementação sofre implicação da alta concentração de glutamato e de glutamina séricos aos 21 dias de lactação (GLU_Ser_Alto_Dia21 -0,90 e GLN_Ser_Alta_Dia21 -0,80). Sobre os índices bioquímicos lácteos, se percebeu que as porcas que foram selecionadas ao acaso para compor o grupo teste (suplementação de 1,5% de AminoGut) já tendiam, no dia do parto (colostro) a altas concentrações de sólidos totais (SOL_Muito_Alta_Dia0) e no percentual de gordura (GOR_Muito_Alta_Dia0), e ainda a uma média concentração de proteína (PRO_Media_Dia0). Esses resultados indicam que a suplementação de AminoGut sete dias antes do parto pôde elevar concentrações de biomoléculas importantes para a síntese do leite garantindo maior energia, imunoglobulinas e proteínas para a leitegada.

Figura 1: grafo implicativo no modo cone centrado na variável AminoGut (suplementação de 1,5% na dieta).



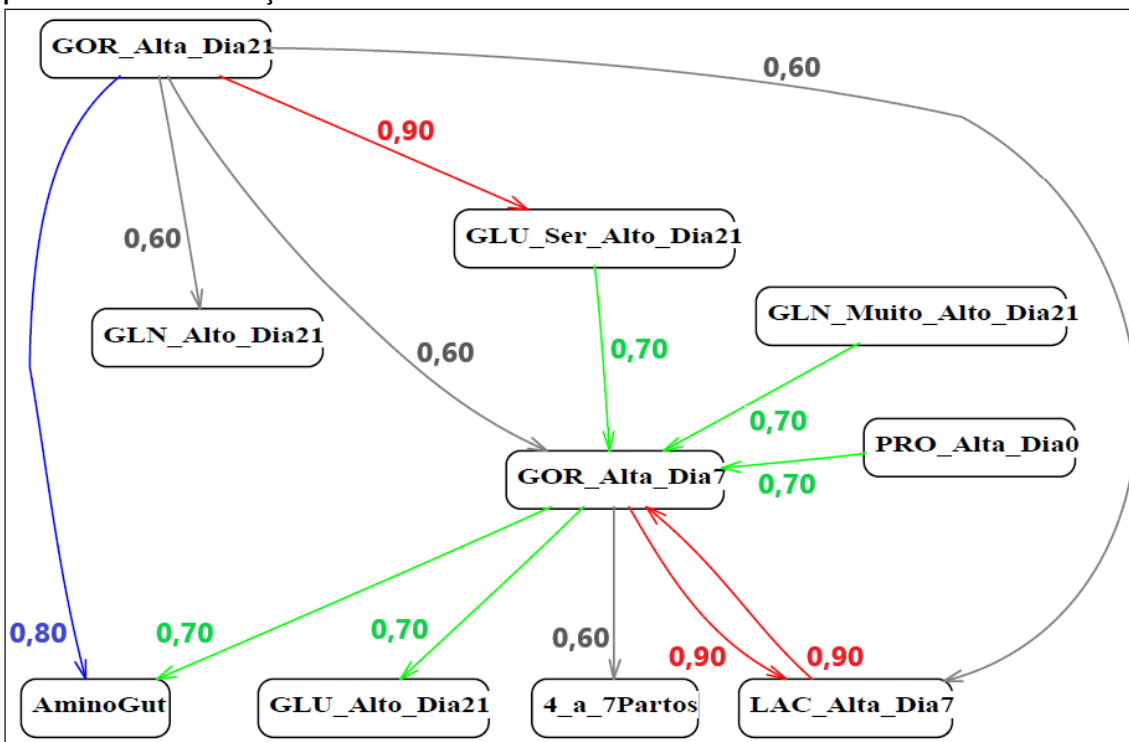
Fonte: autoria própria. Obtido através do CHIC v. 7.0 (2014).

A figura 2 apresenta o grafo implicativo que relaciona altas concentrações de glutamina no sangue. A glutamina sérica alta ao sétimo dia de lactação (GLN_Ser_Alta_Dia7) implica em nível de lactose muito alto ao sétimo dia de lactação (LAC_Muito_Alta_Dia7). A glutamina é um aminoácido que não apenas atua como um precursor na biossíntese de proteínas, mas também desempenha funções críticas no metabolismo celular e na homeostase energética, especialmente em tecidos altamente metabolicamente ativos, como as glândulas mamárias.

Figura 2: relações de quase-implicações entre altas concentrações de glutamina no sangue.

Fonte: autoria própria. Obtido através do software CHIC v. 7.0 (2014).

A figura 3, um grafo implicativo tipo cone que apresenta as relações de quase-implicação do alto nível de gordura no leite ao sétimo (GOR_Alta_Dia7) e vigésimo primeiro dia de lactação (GOR_Alta_Dia21). Podemos verificar que a alta concentração implica na suplementação de glutamina, em índices de implicações diferentes: 0,80 para a alta concentração de gordura no leite aos vinte e um dias de lactação e 0,70 para a alta concentração de gordura aos sete dias de lactação.

Figura 3: relações de quase-implicação do alto nível de gordura no leite ao sétimo e vigésimo primeiro dia de lactação

Fonte: Autoria própria. Obtido através do CHIC v. 7.0 (2014).

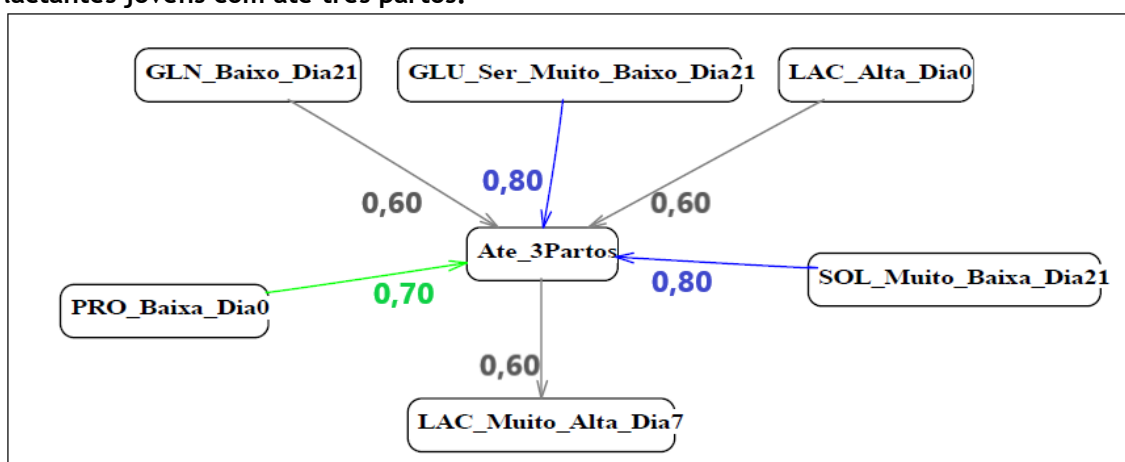
A alta concentração de gordura aos 21 dias (GOR_Alta_Dia21) implicou em alta concentração de glutamato sérico ao vigésimo primeiro dia de lactação (GLU_Ser_Dia21). A relação entre o glutamato sérico e a concentração de gordura no leite é um tema que tem sido investigado em diversos contextos, com resultados indicando uma possível associação entre aumentos nas concentrações de glutamato

e variações nos níveis de gordura láctea. O glutamato é um aminoácido não essencial e um dos principais neurotransmissores do sistema nervoso, desempenha uma função significativa na regulação do metabolismo energético e na síntese de lipídios.

Estudos sugerem que o glutamato pode influenciar a lipogênese nos tecidos, modulando a atividade de enzimas envolvidas na síntese de ácidos graxos. Por exemplo, há algumas evidências de que a glutamina e o glutamato são bons substratos para a síntese de ácidos graxos no tecido adiposo branco e marrom e, recentemente, foi estabelecido que as células cancerosas produzem grandes quantidades de fosfolipídios por meio de uma via, há muito ignorada, que envolve a reversão da isocitrato desidrogenase para produzir citrato que entra na via de síntese de novo de ácidos graxos (Belfiore e Iannello, 1995; Filipp et al., 2012; Metallo et al., 2011; Mullen et al., 2011; Yoo et al., 2008). Da mesma forma, dois estudos metabólicos com leitões desmamados identificaram concentrações mais altas de ácidos graxos e outros lipídios no plasma de leitões que receberam suplementação de glutamina (Xiao et al., 2012a,b). Assim, será importante determinar se a glutamina está realmente sendo usada como substrato para a lipogênese *de novo* ou se está simplesmente agindo de forma sinalizadora, como observado em outros sistemas (Curthoys e Watford, 1995; Curi et al., 2005; Newsholme, 2001).

A figura 4, um grafo implicativo tipo cone sobre as relações implicativas com a idade de porcas em produção determinada pelo número de partos, porcas jovens com até 3 partos (Ate_3Partos), mostra que o percentual de proteína do leite foi baixo ao dia do parto ou dia zero (PRO_Baixa_Dia0), enquanto o nível de lactose do leite foi alto ao dia parto (LAC_Alta_Dia0). O nível de lactose no leite de porcas jovens (Ate_3Partos) aumentou no decorrer do processo lactogênico, quando a lactose esteve em muito alta concentração ao sétimo dia de lactação (LAC_Muito_Alta_Dia7). Ao vigésimo primeiro dia de lactação a concentração e glutamina do leite esteve baixa (GLN_Baixo_Dia21), o teor de sólidos totais apresentou baixa concentração no leite (SOL_Muito_Baixa_Dia21) e a concentração sérica de glutamato foi muito baixa ao vigésimo primeiro dia de lactação (GLU_Ser_Muito_Baixo_Dia21).

Figura 4: grafo implicativo que apresenta as relações de quase-implicação no grupo de porcas lactantes jovens com até três partos.

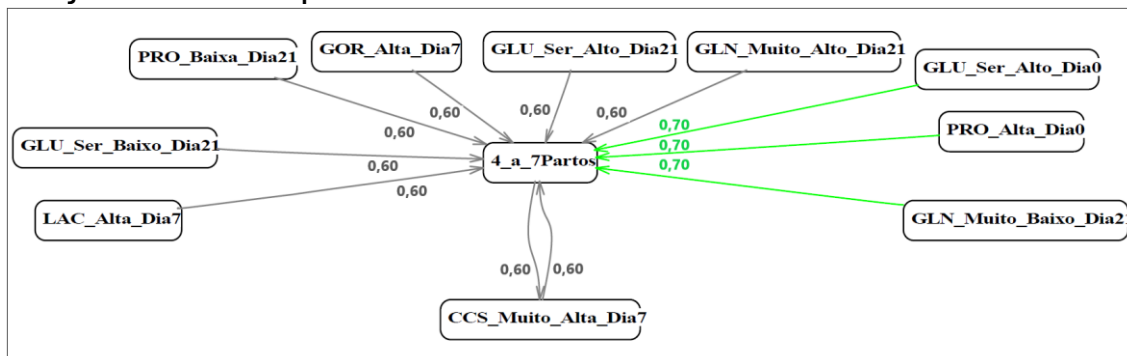


Fonte: Autoria própria. Obtido através do software CHIC v. 7.0 (2014).

Na figura 5, podemos visualizar as relações de quase-implicação vinculadas às porcas mais velhas com 4 até 7 partos. Ao dia do parto, dia zero, a concentração de

glutamato sérico foi alta (GLU_Ser_Alto_Dia0) impulsionando a alta concentração de proteína do leite ao dia do parto (PRO_Alta_Dia0). Aos sete dias de lactação se verificou alta contração de gordura (GOR_Alta_Dia7), alta concentração de lactose (LAC_Alta_Dia7) e uma índice de contagem de células somáticas (CCS) muito alta (CCSMuito_Alta_Dia7).

Figura 5: grafo implicativo que apresenta as relações de quase-implicação no grupo de porcas mais jovens de até três partos.



Fonte: Autoria própria. Obtido através do software CHIC v. 7.0 (2014).

Estudos recentes têm investigado a relação entre o glutamato sérico e a síntese de proteínas no leite, sugerindo que altos níveis de glutamato podem ter um impacto positivo na produção de proteínas lácteas. O glutamato, um aminoácido não-essencial, desempenha um papel crítico no metabolismo e na síntese de proteínas, funcionando como um importantíssimo precursor na biossíntese de aminoácidos essenciais e na regulação da produção de proteínas em várias condições fisiológicas.

A mobilização de glutamato, glutamina e proteínas em porcas lactantes é um aspecto crucial da fisiologia da lactação, influenciando tanto a qualidade do leite quanto o estado de saúde das fêmeas. As concentrações de glutamina e glutamato no plasma e no músculo caem sensivelmente durante a lactação e é acompanhada pela perda de massa muscular, representando um efeito catabólico de média intensidade (Watford, 2015, p. 120). Para Santos de Aquino et al. (2014) evidências sugerem que porcas com mais de quatro partos mobilizam mais glutamato e proteínas em comparação com porcas mais jovens que possuem até três partos. Essa diferença pode ser atribuída a fatores metabólicos e fisiológicos que evoluem com a idade e a experiência reprodutiva.

Dessa forma, Santos de Aquino et al. (2014) indicam que porcas com mais de quatro partos não apenas mobilizam mais glutamato, mas também apresentam uma maior capacidade de síntese de proteínas no leite em comparação com porcas mais jovens. Essa diferença reflete adaptações fisiológicas que têm implicações importantes para a produção de leite e o manejo nutricional em sistemas de produção.

A contagem de células somáticas (CCS) no leite é um indicador importante da saúde da glândula mamária e da qualidade do leite, com implicações significativas na produção láctea e no manejo reprodutivo. Vários estudos têm investigado a relação entre a idade das porcas, sua experiência reprodutiva e os níveis de CCS, sugerindo que porcas com mais de quatro partos tendem a apresentar contagens mais elevadas de células somáticas em comparação às porcas jovens.

A aplicação da ASI possibilita uma outra maneira de estudar a bioquímica a partir de implicações de uma variável bioquímica sobre outra. Esse tipo de análise

oferece uma outra maneira de compreender os fenômenos bioquímicos. Isso permite a complementariedade entre Anova e ASI para este tipo de estudo.

Potencial da ASI para representação de processos bioquímicos

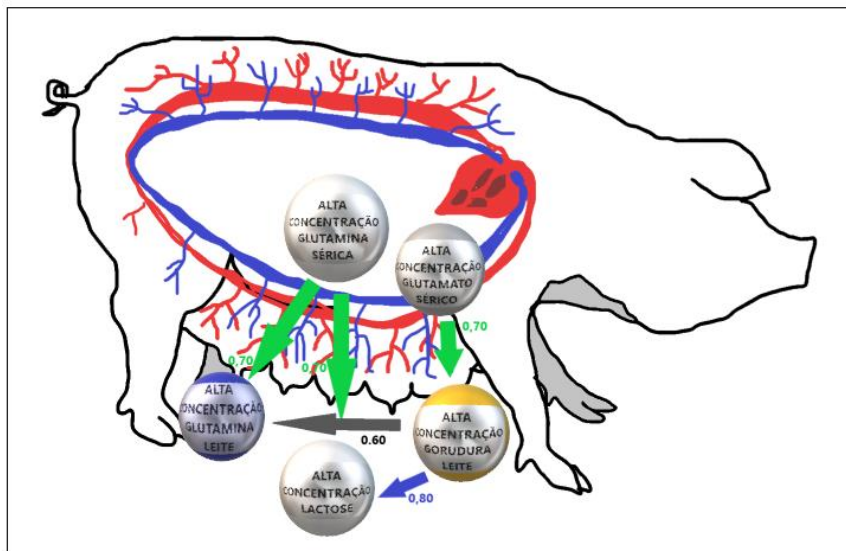
O uso de grafos implicativos com a representação relacional a partir de setas que unem direccionalmente uma variável a outra, representando uma tendência relacional. Essa característica, pode apresentar potencial para representar reações bioquímicas.

Baseados nos resultados apresentados no estudo sobre a nutrição animal, no caso da suplementação de AminoGut (glutamina mais glutamato) na dieta de porcas lactantes, ousamos desenvolver uma representação bioquímica e fisiológica de porcas lactantes a partir dos grafos implicativos.

Assim, através do Paint3D, elaboramos uma representação gráfica de uma porca lactante e uma parte do sistema sanguíneo (grande circulação ou circulação coronária). Através desse desenho foi sobreposto esferas e setas que representam as tendências bioquímicas verificadas no estudo anterior.

A figura 6 mostra o contorno de uma porca lactante em que se destaca o sistema sanguíneo separado por cores (vermelho o sistema sanguíneo arterial, partindo do coração e em azul o sistema sanguíneo venoso chegando ao coração). Esferas representam elementos bioquímicos em que a alta concentração de glutamina sérica implica no aumento da concentração de glutamina e de lactose no leite, enquanto a alta concentração de glutamato sérico implica em alta concentração de gordura no leite. E a alta concentração de gordura do leite implica em alta concentração de lactose e de glutamina.

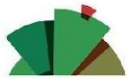
Figura 6: exemplificação da relação entre grafos implicativos com modelo biológico.



Fonte: autoria própria. Construído com o Microsoft Paint3D.

Tais implicações retratam vias metabólicas distintas que podem ser elucidadas através da figura em estudos e no ensino de bioquímica sistêmica em cursos da área de saúde e ciências agrárias como Zootecnia e Veterinária.

Esse ensaio sobre o potencial representacional de processos bioquímicos e fisiológicos a partir da análise dos dados no quadro teórico da ASI atende a hipótese



de adequação da estrutura dos grafos implicativos com representações das reações bioquímicas e fisiológicas. Primeiro pela estrutura dos grafos implicativos de indicação de tendências relacionais a partir de vetores que relacionam as quase-implicações entre variáveis. Tradicionalmente, reações bioquímicas e fisiológicas são também representadas por setas que unem variáveis como moléculas em sentidos lógicos de reações químicas.

O quadro teórico da ASI, através dos grafos implicativos, pode ser uma ferramenta para o ensino de ciências na área de química, biologia e bioquímica para a representação de reações químicas, bioquímicas e fisiológicas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O uso do quadro teórico da ASI para a investigação dos efeitos da suplementação de AminoGut e das concentrações séricas de glutamato e glutamina na produção de leite de porcas lactantes demonstrou a importância de considerar as interações complexas entre metabolismo, nutrição e saúde reprodutiva. Os resultados obtidos indicam que a administração de 1,5% de AminoGut na dieta das porcas gestantes e lactantes proporciona um aumento significativo nas concentrações de biomoléculas essenciais, como proteínas, gordura e lactose, o que, por sua vez, contribui para a melhoria da qualidade do leite e do bem-estar dos leitões.

Nesse contexto, a utilização do quadro teórico da Análise Estatística Implicativa (ASI) emerge como uma ferramenta inovadora e fundamental para o estudo da bioquímica e fisiologia animal. Esse quadro metodológico não apenas permite a identificação de relações significativas entre variáveis, mas também possibilita uma compreensão mais profunda das interações dinâmicas e quase-implicações causais presentes no metabolismo animal. Ao empregar a ASI, foi possível mapear a influência da suplementação de AminoGut e a correlação entre os níveis de glutamato e glutamina no sangue e os parâmetros lácteos, destacando elementos que podem não ser capturados por outros métodos estatísticos usuais.

Os grafos implicativos utilizados ao longo do estudo evidenciam essa capacidade do quadro teórico da ASI em ilustrar como a glutamina sérica alta está correlacionada com aumentos na lactose e glutamina do leite, bem como do glutamato tender à contribuição do aumento do teor da gordura do leite de porca. Essa abordagem permite um exame mais holístico das relações bioquímicas, contribuindo para um entendimento mais integrado dos processos que afetam a produção e a qualidade do leite.

Ademais, a análise das relações entre as variáveis ligadas à idade e à paridade das porcas reforça a noção de que a experiência reprodutiva influencia significativamente a mobilização de glutamato e proteínas, com porcas mais velhas apresentando maior eficiência na utilização dos nutrientes. Essa adaptação metabólica contribui para uma produção láctea mais robusta, embora também esteja associada a um aumento nas contagens de células somáticas.

Como este estudo se mostra inovador devido a utilização da ASI em pesquisa na área de zootecnia com dados bioquímicos, destacamos que futuras investigações devem ser desenvolvidas para o aprofundamento de uso do quadro teórico da ASI nesta área e na representação didática de reações bioquímicas e fisiológicas para facilitar a compreensão e contribuir com o ensino e aprendizagem de ciências em bioquímica.



Referências

ASI - Analyse Statistique Implicative **Références bibliographiques sur l'Analyse Statistique Implicative** <https://sites.univ-lyon2.fr/asi/ref/refasi>. 2024.

BELFIORE, F.; ZANELLO, S. Fatty acid synthesis from glutamate in the adipose tissue of normal subjects and obese patients - Na enzyme study. **Biochemistry Molecular Medicine**, v. 54, p. 19-28, 1995. DOI: <https://doi.org/10.1006/bmme.1995.1003>

CURI, R.; LAGRANHA, C. J.; DOI, S. Q.; SELLITTI, D. F.; PROCOPIO, J.; PITHON-CURI, T. C.; CORLESS, M.; NEWSHOLME, P. Molecular Mechanisms of glutamine action. **Journal of Cellular Physiology**, v. 204, p. 392-401, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1002/jcp.20339>

CURTHOYS, N. P.; WATFORD, M. Regulation of glutaminase activity and glutamine metabolism. **Annual Review of Nutrition**, v. 15, p. 133-159, 1995. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev.nu.15.070195.001025>

FILIPP, F. V.; SCOTT, D. A.; RONAI, Z. A.; OSTERMAN, A. L.; SMITH, J. W. Reverse TCA cycle flux through isocitrate dehydrogenase 1 and 2 is required for lipogenesis in hypoxic melanoma cells. **Pigment Cell Melanoma Research**, v. 25, p. 375-383, 2012.

METALLO, C. M.; GAMEIRO, P. A.; BELL, E. L.; MATTANI, K. R.; YANG, J.; HILLER, K.; JEWELL, C. M.; JOHNSON, Z. R.; IRVINE, D. J. et al. Reductive glutamine metabolism by IDH1 mediates lipogenesis under hypoxia. **Nature**, v. 481, p. 380-384, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1038/nature10602>

MULLEN, A. R.; WEATON, W. W.; JIN, E. S. et al. Reductive carboxylation supports growth in tumor cells with defective mitochondria. **Nature**, v. 481, p. 385-388, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1038/nature10642>

NEWSHOLME, P. Why is L-glutamine metabolism important to cells of the immune system in health, post injury, surgery or infection? **Journal of Nutrition**, v. 131, p. 2515S-2522S, 2001. DOI: <https://doi.org/10.1093/jn/131.9.2515S>

RÉGNIER, J. C.; ANDRADE, V. L. V. X. **Análise Estatística Implicativa e Análise de Similaridade no Quadro Teórico e Metodológico das Pesquisas em Ensino de Ciências e Matemática com a utilização do Software CHIC**. 1. ed. Recife: EDUFPRPE, 2020.

SANTOS DE AQUINO, R.; CARNEIRO-LEÃO, A. M. A.; ACIOLY-RÉGNIER, N. M.; ANDRADE, V. L. V. X.; RÉGNIER, J.-C. Análise estatística implicativa e análise de Variância: estudo estatístico comparativo sobre o desempenho escolar em sala de aula multicultural, p. 169-189, 2021. In: **Analyse statistique implicative: analyses quali-quantitatives des liens orientes entre variables e/ou groupes de variables**. Eds. RÉGNIER, J.-C.; GRAS, R.; BODIN, A.; COUTURIER, R.; VERGNAUD, G. Université Bourgogne Franche-Comté, Besançon, France. ISBN: 978-2-9562045-5-8. 2021.

SANTOS DE AQUINO, R.; DUTRA, W. M.; MANSO, H. E. C. C.; KUTSCHENKO, M.;



SANTOS DE AQUINO, R.; SILVA, E. G.; LIMA, R. S.; GOMES, J. A. F. Quadro da Análise Estatística Implicativa aplicado ao estudo bioquímico em nutrição animal e viabilidade representacional de fenômenos bioquímicos e fisiológicos por grafos implicativos. *Revista Semiárido De Visu*, v. 13, n. 2, p. 231-246, abr. 2025. ISSN 2237-1966.

NOGUEIRA, E. T.; WATFORD, M. Glutamine and glutamate (AminoGut) supplementation influences sow colostrum and mature milk composition. *Livestock Science*, 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.livsci.2014.07.009>

WATFORD, M. Glutamine and glutamate: nonessential or essential amino acids? *Animal Nutrition*, v. 1, p. 119-122, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.aninu.2015.08.008>

XIAO, Y. P.; LI, X. Y.; WU, T. X.; YANG, Q. H.; YANG, C. M.; CHEN, A. G. Effects of dietary glutamine supplementation on nutrient absorption and activity of enzymes involved in glutamine metabolism and energy production in the jejunum of weaned piglets. *Journal of Animal and Veterinaria Advanced*, v. 11, p. 1441-1449, 2012a.

XIAO, Y. P.; WU, T. X.; HONG, Q. H.; SUN, J. M.; CHEN, A. G.; YANG, C. M.; LI, X. Y. Response to weaning and dietary L-glutamine supplementation: metabolomics analysis in piglets by gas chromatography/mass spectrometry. *Biomedicine and Biotechnology*, v. 13, p. 567-578, 2012b.

YOO, H.; ANTONIEWICZ, M. R.; STEPHANOPOULOS, G.; KELLEHER, J. K. Quantifying reductive carboxylation flux of glutamine to lipid in a brown adipocyte cell line. *Journal of Biologic Chemistry*, v. 283, p. 20621-20627, 2008.