

RAÍZES, CIÊNCIA E TRANSFORMAÇÃO

50 anos de inovação da Embrapa Suínos e Aves

Jean Vilas-Boas
Monalisa Leal Pereira
Editores Técnicos

Embrapa

The logo consists of the word "Embrapa" in a bold, white, sans-serif font. To the right of the text is a white graphic element that resembles a stylized leaf or a drop shape, partially overlapping the text.

*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Suínos e Aves
Ministério da Agricultura e Pecuária*

RAÍZES, CIÊNCIA E TRANSFORMAÇÃO

50 anos de inovação da Embrapa Suínos e Aves

*Jean Vilas-Boas
Monalisa Leal Pereira
Editores Técnicos*

Embrapa
*Brasília, DF
2025*

Embrapa
Parque Estação Biológica
Av. W3 Norte (final)
70770-901 Brasília, DF
www.embrapa.br/
www.embrapa.br/fale-conosco/sac

Responsável pelo conteúdo e editoração

Embrapa Suínos e Aves
Rodovia BR 153 - KM 110
89.715-899, Concórdia, SC
https://www.embrapa.br/suinos-e-aves

Comitê Local de Publicações

Presidente

Franco Müller Martins

Secretária-executiva

Tânia Maria Biavatti Celant

Membros

*Clarissa Silveira Luiz Vaz, Catia Silene Klein,
Gerson Neudí Scheuermann, Jane de Oliveira
Peixoto e Joel Antonio Boff*

Membros suplentes

Estela de Oliveira Nunes e Fernando Tavernari

Edição executiva

*Jean Vilas-Boas, Monalisa Leal Pereira e
Marina Schmitt*

Revisão de texto

*Jean Vilas-Boas, Monalisa Leal Pereira,
Sandra Camile Almeida Mota e Vicky Lilge
Kawski*

Normalização bibliográfica

Claudia Antunes Arrieche (CRB14/880)

Projeto gráfico, capa e diagramação

Marina Schmitt

1ª edição

Publicação digital (2025): PDF
1ª impressão (2025): 700 exemplares

Todos os direitos reservados

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte,
constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Embrapa Suínos e Aves

Raízes, ciência e transformação: 50 anos de inovação da Embrapa Suínos e Aves/Jean
Vilas-Boas, Monalisa Leal Pereira, editores técnicos - Brasília, DF: Embrapa, 2025.

PDF (509 p.) : il. color.
ISBN 978-65-5467-100-2

1. Embrapa Suínos e Aves. 2. História. 3. Desenvolvimento. 4. Inovação. 5. Meio ambiente.
6. Produção animal. 7. Genética animal. 8. Sanidade animal. I. Vilas-Boas, Jean. II. Pereira,
Monalisa Leal.

CDD (21. ed.) 630.72

Claudia Antunes Arrieche (CRB-14/880)

©2025 Embrapa

CAPÍTULO 20

Contribuições para a sustentabilidade e o futuro da produção de proteínas

Fabiane Goldschmidt Antes, Ana Paula Almeida Bastos, Anildo Cunha Junior, Darcí Dambrós Junior, Geordano Dalmédico, João Alberto Suzin Marini, Ricardo Luís Radis Steinmetz, Rosemari Martini, Sandra Camile Almeida Mota, Vanessa Gressler e Vivian Feddern

Contribuições para a sustentabilidade e o futuro da produção de proteínas

A Embrapa Suínos e Aves tem se destacado também em temas transversais, com importantes contribuições em áreas como novas técnicas analíticas, ferramentas avançadas de gestão de dados e ativos digitais, além de inovações tecnológicas, como a produção de carne cultivada em laboratório. O desenvolvimento de pesquisas na fronteira do conhecimento para uma produção sustentável de suínos e aves exige profissionais qualificados e infraestrutura laboratorial moderna, com equipamentos de alto desempenho capazes de prover resultados confiáveis.

Por isso, a Embrapa Suínos e Aves investiu na modernização do Laboratório de Análises Físico-Químicas (LAFQ), com a implantação de métodos analíticos robustos, eficientes e com menor geração de resíduos para prover agilidade na geração dos resultados. A modernização também ofereceu menor exposição do trabalhador, o que reduz riscos à saúde. Foram instalados novos equipamentos de cromatografia a líquido e a gás para a determinação de moléculas orgânicas diversas em matérias-primas, alimentos e amostras ambientais. Equipamentos mais modernos para análise elementar e inorgânica, equipados com auto-amostradores para introdução das amostras, também foram instalados.

Na área de meio ambiente, a adoção de técnicas de biologia molecular, microscopia e ensaios para a determinação do potencial bioquímico de biogás (PBB) tem permitido o desenvolvimento de projetos de pesquisa para

o desenvolvimento de processos e tecnologias para gestão sustentável dos resíduos da suinocultura e avicultura.

A Embrapa Suínos e Aves acompanhou outra novidade tecnológica deste século e que está na fronteira do conhecimento: a produção de proteína em laboratório, também conhecida como o cultivo de células-tronco para criar análogos de carne, ou, simplesmente, carne cultivada. Projetos em andamento continuam a desenvolver tecnologias e processos para escalar a produção de carne cultivada, que ainda enfrenta desafios tecnológicos e econômicos.

Os últimos anos também foram marcados pela produção e disponibilização de ativos digitais que contribuem para o crescimento das cadeias de suínos e aves, de forma independente ou por meio de parcerias. Além disso, a Unidade adotou o uso da realidade virtual para a transferência de conhecimento, disponibilizando para a sociedade ferramentas que permitem a fácil compreensão das tecnologias desenvolvidas através dos projetos de pesquisa. O uso de inteligência artificial e *machine learning* também têm sido aliados dos projetos de pesquisa em execução. A seguir, é apresentado um panorama sobre como a evolução da infraestrutura laboratorial da Unidade nos últimos 15 anos ampliou a capacidade de resposta da Embrapa em temas emergentes, como a emissão de gases.

Modernização da infraestrutura analítica da Embrapa

Novas técnicas e equipamentos para as análises ambientais

Alguns gases emitidos para a atmosfera, de origem antropogênica ou natural, têm a capacidade de absorver energia na região espectral do infravermelho e emitir esta energia na forma de calor e por isso afetam o balanço radiativo do planeta e são responsáveis pelo seu aquecimento, sendo chamados de gases de efeito estufa (GEE). O principal GEE é o dióxido de carbono (CO₂) por estar presente na atmosfera em maior concentração. O metano (CH₄) e o óxido nítrico (N₂O) são considerados traço por estarem presentes em concentração bem menor, embora estes tenham um potencial de aquecimento global 34 e 298 vezes superior ao CO₂, respectivamente.

Os países que fazem parte da Organização das Nações Unidas (ONU) se comprometeram em 2015, durante a 21ª Conferência das Partes (COP 21), a tomar medidas para reduzir a emissão de GEE e atenuar os impactos das mudanças climáticas. As cadeias de suínos e aves contribuem com a emissão de GEE através da respiração (suínos) e manejo dos dejetos (suínos e aves), de acordo com o Inventário Nacional de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa (Medeiros et al, 2020; Lima et al, 2024).

Deste modo, no ano de 2015, a Embrapa Suínos e Aves investiu na aquisição do equipamento de cromatografia a gás e na implantação da técnica de determinação de GEE em amostras gasosas (Figura 20.1). O equipamento permite a introdução automática de amostras para a quantificação de CO₂, CH₄ e N₂O. Assim, é possível desenvolver, por exemplo, estudos como o descrito por Oliveira et al. (2020), que avaliou a mitigação de emissão de nitrogênio e N₂O em sistema de compostagem de dejetos suínos (mais informações no Capítulo 9). Outras pesquisas estão em desenvolvimento e buscam estabelecer novas rotas tecnológicas de manejo dos dejetos de suínos e aves, com mitigação de emissão de GEE.

A quantificação de GEE para a elaboração de inventários de emissão e remoção tem importância estratégica para o Brasil, uma vez que estes dados podem subsidiar negociações comerciais e abrir mercados para a exportação de proteína animal. A Embrapa Suínos e Aves tem instrumentação e equipe técnica preparada para estes novos desafios, contribuindo para o crescimento econômico sustentável do país, alinhado aos ODS 2 (Acabar com a fome, alcançar a segurança alimentar e melhoria da nutrição e promover a agricultura sustentável), 12 (Assegurar padrões de produção e de consumo sustentáveis) e 13 (Tomar medidas urgentes para combater a mudança do clima e seus impactos).

Avaliação de comunidades de bactérias e análise de expressão gênica

A biologia molecular é uma ferramenta amplamente utilizada para estudos em análises ambientais. Nos últimos anos, a técnica de reação em cadeia da polimerase (PCR, do inglês *polimerase chain reaction*) em tempo real (qPCR) vem sendo usada para auxiliar na elucidação do desempenho de reatores biológicos nos estudos de remoção de nitrogênio amoniacal através do processo de oxidação anaeróbia de amônio (Anammox) e nos reatores anaeróbios para a produção de biogás (Steinmetz et al., 2016). A técnica é utilizada nesse contexto devido à sua alta sensibilidade, especificidade e capacidade de quantificar diretamente o DNA ou RNA de microrganismos-alvo em amostras ambientais.

No monitoramento de comunidades de bactérias Anammox, as quais representam um importante papel no ciclo global do nitrogênio, a qPCR é essencial para quantificar genes específicos, associados à via metabólica deste grupo. Essa técnica permite detectar a presença de Anammox em sistemas com efluentes da suinocultura e avaliar sua abundância relativa em relação a outros microrganismos, fornecendo informações valiosas para o controle de processos de remoção de nitrogênio em estações de tratamento de efluentes.

No estudo de processos em biorreatores anaeróbios, usados para o tratamento de efluentes agroindustriais, a qPCR permite monitorar a dinâmica das



Foto: Fabiane G. Antes

Figura 20.1. Laboratório de cromatografia a gás para análises ambientais na Embrapa Suínos e Aves.

populações microbianas responsáveis pela degradação de matéria orgânica e produção de biogás. Esta abordagem permite identificar potenciais desequilíbrios na comunidade microbiana, assim como verificar a presença de organismos metanogênicos e acidogênicos, a fim de tomar decisões operacionais visando otimizar o desempenho do reator.

Outro uso do qPCR é a possibilidade de análise da expressão gênica, permitindo avaliar a atividade metabólica de comunidades microbianas sob diferentes condições ambientais. Essa capacidade é particularmente importante em estudos de estresse ambiental ou na avaliação de estratégias para melhorar a eficiência de sistemas biológicos. A aplicação do qPCR para análises ambientais é um avanço significativo na gestão e otimização de processos biológicos, contribuindo para a sustentabilidade e eficiência no tratamento de resíduos. Esse progresso reforça o papel da biotecnologia na solução de desafios ambientais, oferecendo um controle mais preciso e embasado dos processos. Além disso, a aplicação do qPCR também promoveu a melhoria da qualidade ambiental.

Análise microbiológica através da microscopia facilita estudos de efluentes

Uma das técnicas utilizadas para monitoramento dos processos biológicos em estações de tratamento de efluentes (ETE) no LAFQ é a análise microbiológica através da microscopia. A microscopia permite a avaliação direta da comunidade microbiana presente no lodo, bem como das condições gerais do sistema biológico. Os lodos ativados são compostos por uma comunidade complexa de microrganismos, incluindo bactérias, protozoários, fungos e metazoários. Esses organismos são responsáveis pela degradação da matéria orgânica e pela estabilização do efluente.

Através da análise microscópica do tanque de aeração é possível obter informações qualitativas e quantitativas sobre essa comunidade, ajudando a identificar problemas operacionais, como a diversidade microbiana (a presença ou ausência de certos grupos, como protozoários e micrometazoários, que podem caracterizar como está a qualidade do efluente, a carga orgânica, a idade do lodo, a toxicidade e o oxigênio dissolvido; a presença de bactérias filamentosas em excesso, o que pode ocasionar o chamado *bulking* filamentosos, comprometendo a clarificação do efluente; a presença de flocos com crescimento disperso).

A análise por microscopia indica ainda problemas na agregação bacteriana, principalmente pela produção excessiva de substâncias poliméricas extracelulares, o que pode levar a dificuldades na sedimentação do lodo, podendo acarretar em *bulking* viscoso. A análise por microscopia é uma técnica eficiente, de baixo custo e altamente informativa, permitindo a tomada de decisões imediatas para

corrigir problemas operacionais. Além disso, complementa outras análises físico-químicas, fornecendo uma visão mais holística do sistema.

LEB implementa determinação do potencial bioquímico de biogás

Em 23 de maio de 2013, o LAFQ ampliou sua capacidade laboratorial com a inauguração do Laboratório de Estudos em Biogás (LEB), resultante de um convênio entre a Embrapa, a Companhia de Gás de Santa Catarina (SCGás) e a Sociedade Alemã de Cooperação Internacional (GIZ, do alemão Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit). O LEB implementou o ensaio de potencial bioquímico de biogás e metano na Unidade, seguindo padrões internacionais e treinamento dos analistas da Embrapa no Centro Alemão de Pesquisa em Biomassa (DBFZ, do alemão Deutsches Biomasseforschungszentrum), em Leipzig na Alemanha.

O ensaio de potencial metanogênico é um ensaio biológico que possibilita obter informações sobre a cinética de produção de gás e o potencial energético de amostras de substratos orgânicos, principalmente resíduos da produção agropecuária e agroindustrial, mas também aplicável às culturas energéticas (Figura 20.2). Essas informações são cruciais para auxiliar estudos de viabilidade técnica e econômica de projetos baseados no biogás para diferentes finalidades. São exemplos dessas finalidades a geração de energia térmica e/ou elétrica e produção de combustíveis renováveis para mobilidade, como o biometano, o hidrogênio verde, a amônia verde ou até mesmo o combustível de aviação (SAF). Tais informações são importantes para o processo de descarbonização das cadeias produtivas agropecuárias e agroindustriais, condição decisiva para o futuro da produção de alimentos no país.

Mesmo a Embrapa Suínos e Aves já exercendo atividades com biogás desde o fim da década de 1970, a criação do LEB permitiu estabelecer um marco referencial para atividades analíticas no tema. Nos últimos 12 anos, a Embrapa foi pioneira na contribuição para a parametrização e harmonização de metodologia analítica no Brasil e América Latina.

Neste período também, a Unidade organizou e coordenou a execução de rodadas de estudos colaborativos, transformados recentemente em ensaio de proficiência na área do biogás, em parceria com o Instituto Senai de Tecnologia, Alimentos e Bebidas. Foram realizadas oito edições do Interlaboratorial em Digestão Anaeróbia, com participação de mais de 50 laboratórios de oito países, permitindo a padronização entre os laboratórios e geração de materiais de referência, contribuindo para ampliar a segurança de informações técnicas e científicas.

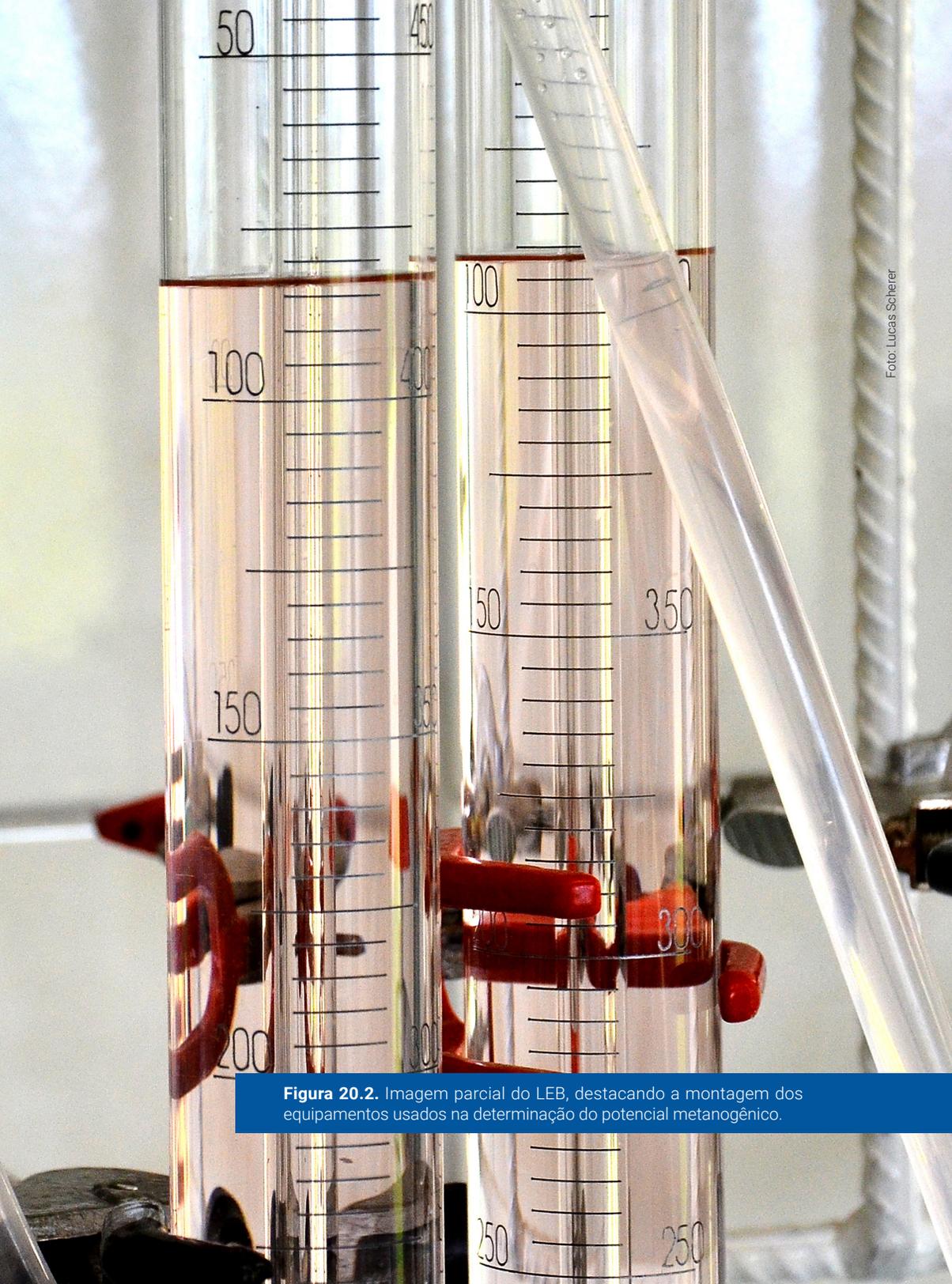


Figura 20.2. Imagem parcial do LEB, destacando a montagem dos equipamentos usados na determinação do potencial metanogênico.

Determinação de moléculas orgânicas por técnicas cromatográficas

Análises sobre aditivos alimentares e voltados para a detecção de resíduos

A produção de suínos e aves envolve a utilização das mais diversas classes de substâncias químicas, que vão desde insumos para a fabricação da ração (aminoácidos, vitaminas, antioxidantes, etc.) e desinfetantes para higienização das granjas até medicamentos para tratamento de enfermidades. Uma parcela destas substâncias tem seu uso restrito ou controlado por órgãos regulamentadores nacionais e internacionais. Portanto, sua utilização requer um vasto conhecimento, uma vez que a utilização equivocada pode resultar em concentrações acima do permitido destas substâncias nos produtos alimentícios comercializados e, por consequência, acarretar danos à saúde do consumidor. Outro fator a ser considerado perante o uso de substâncias químicas na produção é a questão ambiental, pois estas substâncias acabam por alcançar o solo e a água através do desperdício de ração, higienização das instalações e excretas/dejetos dos animais.

O Ministério da Agricultura e Pecuária (Mapa) é o órgão brasileiro que estabelece as diretrizes de utilização destas substâncias químicas, bem como é responsável pelo monitoramento de resíduos e contaminantes em produtos de origem animal através do Plano Nacional de Controle de Resíduos e Contaminantes (PNCRC). Neste contexto, a Embrapa Suínos e Aves contribuiu, ao longo dos últimos anos, em diferentes projetos de pesquisa envolvendo moléculas monitoradas no PNCRC, inclusive com foco relacionado ao Limite Máximo Permitido de Resíduo (LMR), a exemplo da ractopamina, antimicrobianos diversos e seus metabólitos.

O monitoramento ambiental também cresce a passos largos, porém ainda se encontra na etapa de investigação do comportamento destas substâncias no solo e na água e seus possíveis impactos, principalmente relacionados à resistência antimicrobiana. Nesta área, a Embrapa Suínos e Aves realizou alguns estudos voltados à viabilidade de processos de degradação destas substâncias, focando em uma produção mais sustentável na suinocultura e avicultura (Feddern et al., 2022).

Para atender a estas novas demandas do setor produtivo, investimentos em técnicas de análise cada vez mais sensíveis, como a cromatografia (líquida e gasosa), foram necessários nos laboratórios da Embrapa. Para atingir os níveis de detecção extremamente baixos, essas técnicas de análise, em sua maioria, requerem o desenvolvimento de métodos específicos para cada finalidade, pois os equipamentos não são de utilização específica (Gressler et al., 2016; Michelon et al., 2022). Isso reforça a importância dos profissionais qualificados, responsáveis pelo desenvolvimento e implantação dos métodos de análise por técnicas de alto desempenho, como é o caso da cromatografia.

Investigação foca na otimização do uso de aminoácidos para suínos e aves

A evolução da nutrição de suínos e aves, com a transição do uso de proteína bruta, sem a preocupação com sua qualidade, para a introdução de proteínas baseada na sua composição de aminoácidos, foi um processo gradual e complexo que reflete mudanças no entendimento das necessidades nutricionais dos animais e nas tecnologias de formulação de dietas. A Embrapa Suínos e Aves desempenhou um papel importante nesse desenvolvimento, pois através de suas pesquisas contribuiu para a melhoria da nutrição animal no Brasil e em outros países de diversos continentes.

Na década de 1970, a formulação de dietas para suínos e aves no Brasil era predominantemente baseada na proteína bruta, sem um conhecimento aprofundado das exigências específicas de aminoácidos. O foco era fornecer níveis suficientes de proteína total, sem considerar as diferentes fontes e a biodisponibilidade dos aminoácidos presentes nos ingredientes. Já os anos 1980 foram marcados pela introdução do conceito de aminoácidos essenciais para a nutrição de suínos e aves. O conhecimento de que a proteína bruta por si só não era suficiente para cobrir todas as necessidades nutricionais dos animais levou à demanda de se focar nos aminoácidos individuais. Durante esse período, pesquisadores começaram a enfatizar a importância de aminoácidos como a lisina, metionina, treonina e triptofano (Costa; Goulart, 2010).

Nos anos 1990, a indústria de nutrição animal começou a adotar de forma mais intensa a formulação de dietas baseadas em aminoácidos digestíveis, que são aqueles efetivamente utilizados pelo animal, em vez de apenas calcular a proteína bruta da ração. A utilização de aminoácidos sintéticos, como a lisina, metionina e treonina, começou a ser incorporada nas dietas de suínos e aves de forma mais ampla.

Nos anos 2000, este uso foi amplamente difundido, permitindo a formulação de dietas de alta precisão. A Embrapa, juntamente com a indústria de nutrição animal, explorou o impacto da incorporação de aminoácidos sintéticos nas dietas, contribuindo para uma alimentação mais econômica e sustentável, já que era possível reduzir os níveis de proteína bruta e melhorar a eficiência na conversão alimentar (Manzke et al., 2016).

A partir de 2010, a nutrição de suínos e aves começou a se concentrar ainda mais na sustentabilidade e na personalização das dietas. A Embrapa continuou a investigar formas de otimizar o uso de aminoácidos e fontes alternativas de proteína para reduzir os impactos ambientais e melhorar a eficiência das dietas. Há uma crescente ênfase no uso de biotecnologia, através da utilização de enzimas, prebióticos e outros (Krabbe, 2012; Fornazier et al., 2024), na utilização de fontes

alternativas de proteína, como insetos e microalgas (Ludke et al., 2022), e na otimização da utilização de aminoácidos específicos para cada fase da produção.

Para possibilitar avanços na formulação da alimentação de suínos e aves, a Embrapa investiu em equipamentos mais sensíveis para gerar resultados com maior exatidão e métodos analíticos sustentáveis, modernizando seus laboratórios e capacitando seus analistas, técnicos e assistentes. Esses investimentos permitiram a determinação de proteínas e aminoácidos, transformando seus laboratórios em referência para a nutrição de suínos e aves em nível nacional. Os pesquisadores da área de nutrição animal desempenharam um papel fundamental nessa transformação, contribuindo com estudos e práticas que tornaram a formulação de dietas mais precisas e sustentáveis.

Técnica de cromatografia a gás com detector por ionização em chama

Os projetos de pesquisa em digestão anaeróbia dos resíduos de suínos e aves visam o desenvolvimento de novas tecnologias e processos para a valorização dos resíduos através da produção de biogás e biometano e a recuperação de nutrientes do digestato. Para isso, os estudos do processo biológico com o objetivo de melhorar o desempenho de um biodigestor demandam análises químicas para a determinação das moléculas intermediárias do processo. As principais moléculas intermediárias da digestão anaeróbia são ácidos orgânicos produzidos durante a etapa de acidogênese.

Os ácidos orgânicos são moléculas formadas por um a cinco átomos de carbono e por isso chamados de ácidos orgânicos de cadeia curta ou ácidos orgânicos voláteis (por exemplo: ácidos butírico, propiônico e acético). Para possibilitar a determinação destas moléculas, e de outros ácidos orgânicos de importância para as pesquisas em produção animal, foi implantada a técnica de cromatografia a gás com detector por ionização em chama. A determinação dos ácidos em amostras líquidas dos biodigestores é feita por auto-amostrador do tipo *headspace*, enquanto para outras matrizes é possível a análise também pelo sistema de injeção convencional.

Um exemplo da determinação de ácidos de cadeia curta para ajudar a compreender o desempenho de um biodigestor para a produção de biogás está descrito em um trabalho publicado recentemente, onde foi estudada a codigestão de dejetos suínos e resíduos agroindustriais (Enokida et al., 2025). Neste trabalho, a variação na concentração das espécies ácidas foi comparada com os resultados da relação alcalinidade intermediária/alcalinidade total. Foi evidenciado o acúmulo dos ácidos butírico e propiônico, possivelmente causado pela inibição do processo biológico devido à alta concentração de amônia no biodigestor. Com

base nestas informações, é possível estabelecer estratégias de operação do biodigestor para evitar a inibição e aumentar a produção de biogás, melhorando o desempenho do equipamento.

Análises automatizadas sobre a composição de matérias-primas

Modernizações ampliam capacidade para determinação do carbono total

A modernização dos laboratórios é premissa que norteou a gestão nos laboratórios na Embrapa Suínos e Aves ao longo de sua existência. Nesse sentido, métodos robustos, com menor ou sem geração de resíduos, maior eficiência e eficácia, além de agilidade na geração dos dados e menor exposição a riscos que comprometem a saúde do trabalhador, motivaram a migração do método tradicional de determinação de carbono e nitrogênio para o método automatizado. Assim, o método Walkley-Black (para a determinação de carbono) e o método Kjeldal (para a determinação de nitrogênio), baseados na oxidação química úmida, foram substituídos por métodos de oxidação seca via combustão.

Em 2012, foi instalado no LAFQ um analisador baseado no método Dumas para determinação de nitrogênio e, em 2013, foi instalado um analisador elementar (CHNS-O) para a determinação de carbono total. Ambos os equipamentos são de fácil operação, requerendo apenas pesagem da amostra, e entregam os resultados das análises em poucos minutos.

A análise por combustão funciona através da queima controlada da amostra em uma atmosfera rica em oxigênio. Durante a combustão, os compostos orgânicos são convertidos em dióxido de carbono, água e óxidos de nitrogênio, enquanto os elementos inorgânicos são convertidos em suas formas iônicas. Os produtos da combustão são, então, transportados para o sistema de detecção, onde são analisados para determinar a composição elementar. Através de cálculos e comparações com padrões conhecidos, é possível obter os resultados desejados com precisão e confiabilidade.

Há uma ampla variedade de aplicações para a análise elementar por combustão. Na agricultura, por exemplo, ela é utilizada para determinar os teores de nutrientes nos fertilizantes e nas amostras do solo, ajudando a otimizar a fertilização e a melhorar a produtividade das culturas. Na área ambiental, a análise elementar é essencial para avaliar a presença de poluentes em amostras de solo e resíduos agroindustriais, auxiliando desta forma na proteção do meio ambiente. Na produção agropecuária e na indústria alimentícia em geral, a análise elementar é utilizada para garantir a qualidade e a segurança dos alimentos, beneficiando, assim, a proteção ao consumidor.

Estrutura voltada à análise de minerais é reforçada ao longo dos anos

A Embrapa Suínos e Aves tem conduzido pesquisas que abordam frequentemente questões associadas com a biodisponibilidade, a importância e o reaproveitamento de elementos minerais. Neste contexto, a determinação de minerais em diferentes tipos de amostras sempre esteve inserida no escopo de atuação do LAFQ. Tal fato, evidentemente, tem contribuído para viabilização de inúmeros estudos sobre nutrição de suínos e aves, atributos nutricionais e qualidade de carnes e ovos, tratamento e aproveitamento energético dos resíduos da produção animal, valoração de sub e coprodutos agroindustriais, fertilização do solo e caracterização de águas naturais e residuárias.

Ao longo dos anos, o LAFQ tem investido esforços para manter uma subárea dedicada especificamente à análise de minerais, cuja estrutura foi modelada para atender toda a sequência analítica envolvida nos ensaios. Diante da capacidade analítica instalada atualmente, é possível executar o preparo de diferentes tipos de amostras por meio de procedimentos baseados nos métodos de digestão ácida sob aquecimento convencional, solubilização ácida, calcinação em forno mufla, digestão ácida assistida com radiação micro-ondas e extração sob agitação orbital.

No que diz respeito à quantificação, o laboratório conta com uma instrumentação analítica moderna, tendo a sua disposição equipamentos que permitem a quantificação dos elementos por técnicas de espectrometria de absorção no ultravioleta-visível (UV-Vis), espectrometria de absorção atômica em chama (FAAS, do inglês *flame atomic absorption spectrometry*), fotometria de emissão em chama, e espectrometria de emissão óptica por plasma indutivamente acoplado (ICP-OES, do inglês *inductively coupled plasma - optical emission spectrometry*).

Na maioria dos casos, as análises têm se concentrado na determinação de elementos como sódio (Na), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), fósforo (P), cobre (Cu), zinco (Zn), ferro (Fe) e manganês (Mn). No entanto, as frentes de atuação não se limitam apenas a estes minerais, visto que o LAFQ busca atender aos interesses de estudos com foco em elementos específicos, como cromo (Cr), alumínio (Al), silício (Si), níquel (Ni) e cobalto (Co), considerando a demanda de diversos projetos de pesquisa da Unidade e em parceria com outras instituições.

Proteína cultivada: uma nova fronteira do conhecimento

O crescimento populacional global, combinado com desequilíbrios demográficos e socioeconômicos, especialmente nos países em desenvolvimento, e o

aumento da longevidade na maioria das nações, têm intensificado a pressão sobre os sistemas alimentares. A Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO) destacou a necessidade de um aumento de 70% na produção de alimentos para atender à demanda de uma população mundial estimada em 10 bilhões de pessoas até 2050 (FAO, 2022). A falta de nutrição adequada frequentemente provoca desequilíbrios ou a baixa qualidade de certos itens alimentares. Nesse contexto, garantir o direito universal de acesso a alimentos em quantidade e qualidade adequadas, aliados à segurança e ao suporte nutricional completo, é essencial para promover uma vida saudável.

Os conceitos de segurança alimentar e inocuidade dos alimentos representam desafios significativos que exigem esforços conjuntos de cientistas, produtores de carne, governos e agências reguladoras. Além disso, transformações socioeconômicas e fatores externos, como guerras, pandemias e catástrofes ambientais, têm imposto novas barreiras à produção e distribuição de alimentos. Assim, é crucial investir na pesquisa e no desenvolvimento de metodologias alternativas para a produção de commodities alimentares.

Na última década, o mercado tem testemunhado mudanças expressivas na demanda do consumidor e avanços na inovação de produtos à base de proteínas alternativas. Entre as alternativas mais promissoras está a agricultura celular, um setor emergente que busca oferecer uma produção sustentável de proteínas animais, eliminando a necessidade do abate de animais. A carne cultivada, produzida a partir de culturas de células animais, destaca-se como uma solução capaz de enfrentar desafios globais urgentes, como a escassez de alimentos, mudanças climáticas e o crescimento populacional. No entanto, a técnica ainda enfrenta obstáculos tecnológicos substanciais.

Em 2021, a Embrapa Suínos e Aves colocou em funcionamento um laboratório dedicado ao cultivo de células-tronco embrionárias e adultas de frango. Com a aprovação do projeto Whole-cut Chicken Analogs from Massive Dynamic Cocoon-like Bacterial Cellulose Tissue-engineering Constructs, financiado pelo The Good Food Institute (GFI), duas salas de cultivo foram adaptadas para o desenvolvimento de análogos de filé de peito de frango. Nesse projeto, células-tronco adultas e embrionárias de frango foram induzidas à diferenciação em adipócitos e osteócitos. Para a produção de carne cultivada neste trabalho, foi utilizado a nanocelulose bacteriana (BNC) como *scaffold* (arcabouço), fornecendo estrutura e textura semelhantes à carne tradicional.

A BNC foi sintetizada como hidrogel a partir da cultura in vitro da bactéria *Novacetimonas hansenii*. As células-tronco mesenquimais foram obtidas de ovos férteis de aves livres de patógenos específicos (SPF) e cultivadas em formatos 2D e 3D, sendo posteriormente integradas à BNC em forma de esferoides. O resultado

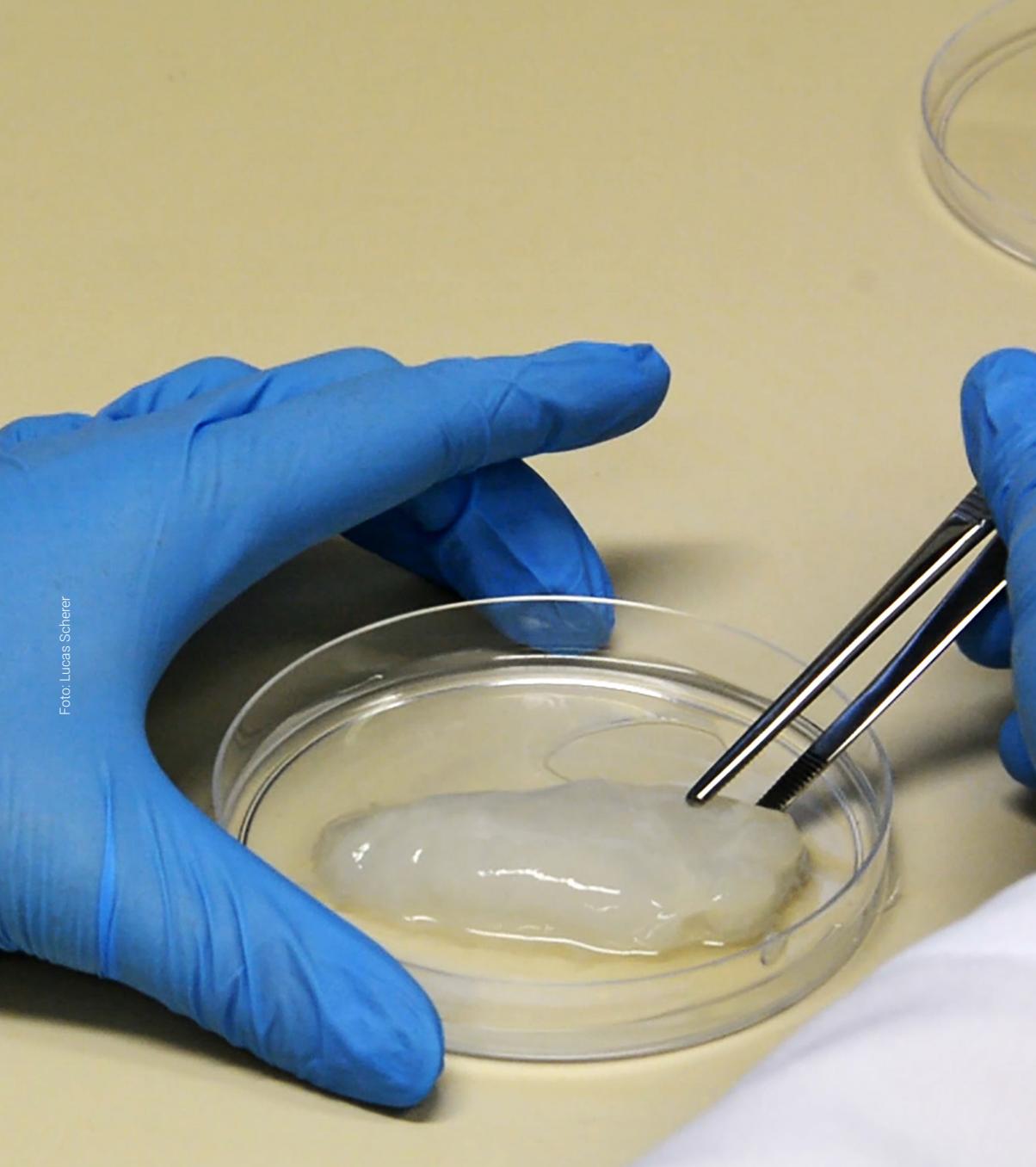


Figura 20.3. Protótipo de carne de frango cultivada, desenvolvido com cocultivo de células em 2D e 3D.

foi um protótipo de carne de frango cultivada, desenvolvido com cocultivo de células em 2D e 3D (Figura 20.3). Análises visuais revelaram semelhanças significativas com a carne convencional, representando um avanço promissor no desenvolvimento de alternativas sustentáveis à produção de carne.

Dando continuidade, em 2024 foram iniciados outros projetos com grandes avanços tecnológicos. Como uma tecnologia emergente, o fluxo para a produção de carne cultivada está em construção e o processo de produção ainda tem diversas etapas passíveis de inovação e melhoria em escala e custo. As etapas pré-definidas e utilizadas neste processo são: (1) isolamento/aquisição de células e a proliferação celular inicial em ambiente de laboratório onde serão estimuladas e nutridas; (2) proliferação e expansão em larga escala das células de interesse em um biorreator; (3) indução de diferenciação ou formação de tecido muscular/adiposo (maturação); (4) plaqueamento das células em um *scaffold* (arcabouço) ou microcarreador de tecido biocompatível e/ou biocomestível; e (5) derivação de um produto de carne cultivada após a maturação das células cultivadas, compreendendo o processamento em produtos alimentares finais, seja não estruturados (como hambúrgueres, linguiça, salsichas, nuggets) ou estruturados como bifês e filês tipo “corte inteiro”.

Nessa proposta, as cinco etapas foram realizadas, trabalhando com células-tronco que foram diferenciadas em miócitos (células bovinas e células de frango) e adipócitos (suína). Essas células foram expandidas em um sistema de cultura em suspensão em biorreatores e *spinners*, no qual as células foram plaqueadas em microcarregadores (MCs). Os microcarregadores são estruturas com alta razão área de superfície/volume e que fornecem suporte adequado para expansão celular. MCs comestíveis foram desenvolvidos e minuciosamente caracterizados, discutindo assim seu uso potencial como plataforma de expansão celular e a viabilidade do novo conceito de MCs comestíveis de origem vegetal para o design de produtos cárneos cultivados. Por fim, as células foram expandidas em *spinners* e biorreator para a formação de uma carne não estruturada.

Embora ainda enfrente barreiras tecnológicas, econômicas e regulatórias, a proteína cultivada está gradualmente consolidando seu papel como uma solução viável para o futuro da alimentação. Investimentos contínuos em pesquisa e desenvolvimento, aliados à colaboração entre cientistas, empresas e órgãos reguladores, são essenciais para superar esses desafios. À medida que a tecnologia avança, a proteína cultivada tem o potencial de preencher importantes lacunas do sistema alimentar global.

Ativos digitais prestam serviços para variados públicos

A era digital, iniciada no começo do século XXI, é caracterizada pela adoção de tecnologia da informação em escala crescente. No campo, ela evidenciou-se de forma mais marcante a partir da transformação digital que deu início à fase conhecida como Agricultura 4.0, quando tecnologias como inteligência artificial, *machine learning*, *blockchain*, *big data*, computação em nuvem, robotização, automação, sistemas de informação geográfica, entre outras, passaram a ser empregadas na produção de alimentos.

Acompanhando essa evolução, a Embrapa Suínos e Aves vem produzindo e disponibilizando ativos digitais para as mais diversas finalidades, de forma independente ou por meio de parcerias. Embora algumas iniciativas já tivessem ocorrido nas décadas anteriores, como é o caso dos softwares ATEPROS (para o cálculo de coeficientes econômicos das granjas de suínos) e o Suicalc (para o cálculo do custo de produção de suínos), o Jogo do Meio Ambiente foi um dos primeiros ativos digitais disponibilizados na década de 2000. Seu lançamento ocorreu em 2006. Acessível pela web, o software apresentava uma série de informações sobre tratamento de dejetos e sustentabilidade de granjas de suínos. Dez anos depois, em 2016, o software ganhou uma nova versão, recebendo o nome de Desafio Ecogranja. Além de receber atualizações, tanto no conteúdo, quanto na tecnologia utilizada, a gamificação foi utilizada de forma mais consistente. Em pouco mais de oito anos, o Desafio Ecogranja foi utilizado mais de 60 mil vezes.

Em 2011, a Central de Inteligência de Aves e Suínos (CIAS) foi desenvolvida e lançada. A ferramenta, acessada pela web, apresenta estatísticas, mapas e infográficos sobre produção e custos de frangos, suínos e ovos. Já em 2014, a Unidade lançou seu primeiro *app*, o Granucalc Mobile. O aplicativo é a versão para smartphones Android do software Softgran, criado em 1999 para utilização em computadores Windows. O Granucalc é utilizado para o cálculo do diâmetro geométrico médio (DGM) das partículas de milho moído. Ele também avalia se a moagem está adequada para a alimentação de aves e suínos. As versões mais recentes incluem novos métodos de avaliação e novos recursos, como a possibilidade de realizar o controle de qualidade do alimento. A atualização da versão para Windows ocorreu um ano antes.

No ano seguinte, 2015, a Unidade desenvolveu e lançou o Energcalc, um software para computadores Windows cuja função é o cálculo de energia metabolizável em experimentos de nutrição com animais. Além de ser utilizado nos experimentos internos, a disponibilização do Energcalc contribuiu com outras organizações que trabalham com experimentação animal. Seguindo a tendência da

mobilidade, outros aplicativos foram desenvolvidos e lançados em 2016: DiagSui, que auxilia na identificação de doenças em suínos; Conforcalc, para avaliação do conforto térmico em aviários; e Custo Fácil, que permite estimar o custo de produção, a rentabilidade e a geração de caixa dos produtores de suínos e aves. Em 2024, o aplicativo Ater+ Digital, uma ferramenta para facilitar a assistência técnica e extensão rural, foi desenvolvido em parceria com a empresa Maneje Bem.

A participação da Unidade na elaboração de políticas públicas também foi facilitada através do desenvolvimento de ativos digitais. O Sistema Integrado de Manejo de Fauna (Simaf), por exemplo, desenvolvido em 2013, é um sistema de informação geográfica (SIG) utilizado pelo Ibama para gerenciar as licenças emitidas para o controle da população de javalis em território nacional (tema desenvolvido em maior profundidade no Capítulo 7). O sistema também armazena os dados das atividades de controle realizadas pelos licenciados, gerando informações valiosas para subsidiar tomadas de decisão com relação ao controle dessa espécie invasora.

Outro caso de sucesso é o Sistema de Gestão Ambiental da Suinocultura (SGAS), lançado em 2017. O SGAS é um SIG desenvolvido pela Unidade que permite dimensionar a produção de suínos de acordo com a capacidade do produtor de tratar e destinar corretamente os dejetos dos animais (este assunto também foi abordado no capítulo 15). Além de contribuir para a sustentabilidade ambiental da suinocultura, ele facilita o processo de licenciamento ambiental e gera informações importantes para a definição de políticas públicas.

Em 2020, um novo ativo digital foi desenvolvido para auxiliar a cadeia produtiva de suínos na busca pela sustentabilidade ambiental. Trata-se do GeoFert, um sistema de informação geográfica cujo objetivo é auxiliar na gestão da prestação de serviços de distribuição de dejetos suínos em lavouras, incluindo o registro das coordenadas geográficas onde essas atividades ocorreram de fato. O sistema atua na etapa pós-licenciamento ambiental, permitindo que produtores de suínos comprovem a correta destinação dos dejetos e que os órgãos ambientais possam fiscalizar a prática, comparando com o que foi acordado antes do licenciamento. O GeoFert foi validado em escala piloto em 2021 e está em processo de transferência para comercialização por um parceiro privado.

A Embrapa foi responsável pela capacitação da equipe da parceira e pela definição dos modelos de Ater. A Maneje Bem ficou com o desenvolvimento do protótipo funcional e sua implementação em escala piloto. Os resultados previstos foram de apoio à inovação, divididos em duas instâncias. A primeira focou na capacitação e atualização tecnológica de agentes multiplicadores da Maneje Bem e a formalização de um contrato de licenciamento e exploração comercial com o uso da marca Tecnologia Embrapa. A segunda gerou um software para clientes

externos, facilitando a assistência técnica e extensão rural on-line, abrangendo as temáticas de produção de ovos e adubação com dejetos suínos, disponibilizado no portal Maneje Bem¹.

O software Maneje Chat, com o objetivo de facilitar a assistência técnica e extensão rural on-line, passou a abranger as temáticas produção de ovos e adubação com dejetos suínos. Dentro desta iniciativa, foi desenvolvido um módulo de produção de ovos, contemplando mural com orientações técnicas e acompanhamento de indicadores zootécnicos e financeiros da produção, bem como *dashboard* para acesso aos dados dos lotes.

Em 2023, a Unidade adotou o uso da realidade virtual para transferência de conhecimento. O primeiro ambiente virtual desenvolvido para o metaverso da Unidade foi o TEC-DAM, que demonstra algumas das principais tecnologias para destinação de animais mortos. O uso da realidade virtual permite que os interessados obtenham informações de modo imersivo, com uso de óculos de realidade virtual, visualizando ambientes e objetos como se estivessem em um ambiente real, o que não seria possível devido às restrições de acesso a uma granja/propriedade.

O ano de 2024 foi marcado pelo desenvolvimento de duas importantes ferramentas digitais. A primeira delas foi o ABC+Calc, um sistema de informação desenvolvido em parceria com o Instituto 17, para estimar e monitorar as emissões de GEE associadas ao manejo de resíduos da produção animal no Brasil. A segunda foi o BiosSui, um sistema de informação geográfica que auxilia na avaliação da biossegurança em granjas de suínos, possibilitando compreender os principais riscos presentes em cada uma delas, bem como a adoção de medidas para reduzi-los.

Também em 2024, iniciou-se o uso de inteligência artificial na solução de problemas das cadeias produtivas de aves e suínos. Aplicações utilizando visão computacional para detecção e avaliação de pragas da avicultura e ameaças à biossegurança estão em desenvolvimento e devem estar disponíveis para uso em breve. Além disso, também foram iniciados estudos para o desenvolvimento de modelos de *machine learning* capazes de prever a ocorrência de doenças nos plantéis. Por sua vez, em 2025, a Unidade iniciou o desenvolvimento de um novo ativo digital para melhorar a rastreabilidade do sêmen de suínos por meio do uso de *blockchain*. A tecnologia é fundamental para garantir o registro correto da origem e destinação do material, além de impedir possíveis fraudes.

Os últimos 15 anos foram marcados por um crescimento sem precedentes na oferta de soluções que utilizam tecnologias digitais pela Embrapa Suínos e Aves. A complexidade dos problemas que ainda precisam ser superados, aliada

¹ <https://www.manejebem.com.br>

ao conhecimento sobre as cadeias produtivas e ao advento de tecnologias como *deep learning*, colocam a Unidade em uma posição privilegiada para continuar contribuindo no desenvolvimento de ativos digitais voltados ao ganho de produtividade, ao aumento na competitividade da avicultura e suinocultura e ao desenvolvimento de sistemas de produção mais sustentáveis.

Referências

COSTA, F. G. P.; GOULART, C. C. Exigências de aminoácidos para frangos de corte e poedeiras. In: WORKSHOP DE NUTRIÇÃO DE AVES, 2., 2010, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: UFPB, 2010.

ENOKIDA, C. H.; TAPPARO, D. C.; ANTES, F. G.; STEINMETZ, R. L. R.; MAGRINI, F. E.; SOPHIATTI, I. V. M.; PAESI, S.; KUNZ, A. Anaerobic codigestion of livestock manure and agro-industrial waste in a CSTR reactor: operational aspects, digestate characteristics, and microbial community dynamics. **Renewable Energy**, v. 238, p. 1-12. DOI: 10.1016/j.renene.2024.121865.

FAO. 2022. **Food safety aspects of cell-based food: background document one:** terminologies. Rome, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.4060/cc2241en>. Acesso em: 11 abr. 2025.

FEDDERN, V.; SCHEUERMANN, G. N.; COLDEBELLA, A.; GRESSLER, V.; BEDENDO, G. C.; CARON, L.; PEDROSO, A. C.; BACILA, D. M.; CUNHA JR., A. Nicarbazin Residue in Tissues from Broilers Reared on Reused Litter Conditions. **Animals**, v. 12, p. 3107, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/ani12223107>.

FORNAZIER, R.; RIBEIRO JUNIOR, V.; ALBINO, L. F. T.; TAVERNARI, F. C.; FEDDERN, V.; SILVA, D. L.; SERAFINI, S.; PETROLLI, T. G.; PAIANO, D.; CALDERANO, A. A.; BOIAGO, M. M.; ROSTAGNO, H. S. Prebiotic composed of yeast (*Saccharomyces cerevisiae*) cell wall improves performance in broiler diets. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 53, e20230162, 2024. DOI: <https://doi.org/10.37496/rbz5320230162>.

GRESSLER, V.; FRANZEN, A. R. L.; DE LIMA, G. J. M. M.; TAVERNARI, F. C.; DALLA COSTA, O. A.; FEDDERN, V. Development of a readily applied method to quantify ractopamine residue in meat and bone meal by QuEChERS-LC-MS/MS. **Journal of Chromatography B - Analytical Technologies in the Biomedical and Life Sciences**, v. 1015-1016, p. 192-200, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jchromb.2016.01.063>.

KRABBE, E. L. A já consagrada fitase: uma visão sob outro ângulo. **Avicultura Industrial**, Itu, ed. 1211, ano 103, n. 5, p. 12-21, 2012.

LIMA, M. A.; VIEIRA, R. F.; LUIZ, A. J. B.; NEVES, M. C.; PACKER, A. P. Inventários de emissão de gases de efeito estufa (GEE) na agricultura e pecuária. In: **Agricultura & meio ambiente: a busca pela sustentabilidade**. Brasília, DF: Embrapa, 2024. 1010 p.

LUDKE, J. V.; SCHEUERMANN, G. N.; BERTOL, T. M. Alternativas ao milho na fabricação de rações para a avicultura. **Avicultura Industrial**, Itu, ed. 1317, ano 113, n. 3, p. 10-19, 2022.

MANZKE, N. E.; PALHARES, J. C. P.; LIMA, G. J. M. M. de (org.). Nutrição de precisão e manejo alimentar como formas de reduzir a poluição ambiental dos resíduos gerados na produção de suínos e aves. In: PALHARES, J. C. P. (org.). **Produção animal e recursos hídricos**. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudoeste, 2016. v. 1, p. 133-144.

MICHELON, W.; MATTHIENSEN, A.; VIANCELLI, A.; FONGARO, G.; GRESSLER, V.; SOARES, H. M. Removal of veterinary antibiotics in swine wastewater using microalgae-based process. **Environmental Research**, v. 207, p. 112192, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.112192>.

MEDEIROS, A. de S.; FONTANA, A.; PIRES, A. M. M.; VENTURIERI, A.; NICOLOSO, R. da S. Inventário nacional de emissões e remoções antrópicas de gases de efeito estufa. In: QUARTA Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima. Brasília, DF: MCTI, 2020. p. 83-185.

OLIVEIRA, L. V.; HIGARASHI, M. M.; NICOLOSO, R. S.; COLDEBELLA, A. Use of dicyandiamide to reduce nitrogen loss and nitrous oxide emission during mechanically turned co-composting of swine slurry with sawdust. **Waste and Biomass Valorization**, v. 11, p. 2567–2579, 2020. DOI: 10.1007/s12649-019-00616-x.

STEINMETZ, R. L. R.; MEZZARI, M. P.; DA SILVA, M. L. B.; KUNZ, A.; DO AMARAL, A. C.; TÁPPARO, D. C.; SOARES, H. M. Enrichment and acclimation of an anaerobic mesophilic microorganism's inoculum for standardization of BMP assays. **Bioresource Technology**, v. 219, p. 21-28, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.07.031>.