Ciências ômicas: Resposta para a ciência vegetal

Omics Sciences: Answer for Plant Science

Thamires Soares Ricardo Jesus[1*]; Renan Luiz Albuquerque Vieira[2]; Tércio Jorge Nascimento Paixão[3]; Vanessa de Oliveira Almeida[4]; Hanilton Ribeiro de Souza[5]

[1]* (autor correspondente), Universidade Federal da Bahia – UFBA/ICS, Av. Reitor Miguel Calmon, s/n - Canela, Salvador - BA, 40231-300, thamires.s.r.jesus@gmail.com; 0 (71) 988045174; https://orcid.org/0009-0000-4692-4848; [2]Centro Universitário Maria Milza - UNIMAM, Governador Mangabeira - Bahia, Brasil, 44350-000, renan.albuquerque@hotmail.com; https://orcid.org/0000-0001-8472-0432; [3]Universidade do Estado da Bahia - UNEB Campus V, R. Tenente-Cel. Bandeira de Melo - São Benedito, Santo Antônio de Jesus - BA, 44571-003, tercio1004@gmail.com; [4]Centro Universitário Maria Milza - UNIMAM, Governador Mangabeira - Bahia, Brasil, 44350-000, voagro@gmail.com; https://orcid.org/0000-0002-9742-4429; [5]Docente da Universidade do Estado da Bahia, Loteamento Jardim Bahia, S/N, CEP: 44.570-000, Santo Antônio de Jesus, Bahia, Brasil. E-mail: hansouza@hotmail.com, https://orcid.org/0000-0002-4461-6873

Resumo

As ciências ômicas (genômica, transcriptômica, proteômica, metabolômica), são importantes para estudar de forma profunda as plantas e através dos resultados, utiliza-lós como base para aprofundar os estudos na área vegetal e servir como base para diversas outras áreas e novas descobertas. A pesquisa foi conduzida por meio de revisão de literatura integrativa qualitativa, utilizando as bases de dados eletrônicas: *Google Acadêmico*, Portal de periódicos da Capes e *Scielo*, com recorte temporal entre os anos de 2020 a 2023. Foram encontrados o total de 46 artigos específicos. Notou-se que as ciências ômicas são de fundamental importância, pois, permitem uma visão abrangente e multidimensional dos sistemas biológicos, abrindo caminho para avanços significativos em campos como a medicina, biologia molecular, agricultura, ecologia e indústria farmacêutica. Além, de permitir o aprofundamento do estudo das plantas e para a descoberta de resposta chaves, que podem servi de base para estudo em várias outras áreas. Portanto, a integração dessas abordagens gera um panorama completo e detalhado do funcionamento das plantas, permitindo que compreendamos melhor como a plantas reagem aos estímulos do ambiente, como se adaptam às condições adversas.

Palavras chaves: genômica, transcriptômica, proteômica, metabolômica.

Abstract

The omics sciences (genomics, transcriptomics, proteomics, metabolomics), they are important to study plants in depth and, through the results, use them as a basis to deepen studies in the

plant area and serve as a basis for several other areas and new discoveries. The research was conducted using a qualitative integrative literature review, using electronic databases: *Google Acadêmico*, Portal de periódicos da Capes e Scielo, restricting the search to the years 2020 until 2023. A total of 46 specific articles were found. It was noted that omics sciences are of fundamental importance, therefore, they allow a comprehensive and multidimensional view of biological systems, paving the way for significant advances in fields such as medicine, molecular biology, agriculture, ecology and the pharmaceutical industry. In addition, for deepening the study of plants and for discovering key answers, which can serve as a basis for studies in several other areas. Therefore, the integration of these approaches generates a complete and detailed overview of plant functioning, allowing us to better understand how plants react to environmental stimuli and how they adapt to adverse conditions.

Keyworks: genomics, transcriptomics, proteomics, metabolomics.

1. Introdução

O século XX foi marcado pelo sequenciamento do código genético, com o intuito de esclarecer completamente os mecanismos responsáveis pelo desenvolvimento e funcionamento celular, gerando uma mudança significativa para a ciência através do fornecimento de informações sobre várias características biológicas (Rocha et al., 2022). No entanto, após todo este esforço ficou claro que o conhecimento da sequência de todos os genes de um organismo não é suficiente para entender todo mecanismo molecular de uma célula (Silva et al., 2022).

As principais metodologias utilizadas inicialmente para o sequenciamento de Ácido Desoxirribonucleico (DNA) foram os métodos de clivagem química e o método de Sanger, o que primariamente restringiu os estudos a pequenos fragmentos de DNA ou poucos genes, o crescimento do conhecimento químico sobre nucleotídeos e ácidos nucleicos, resultou na alteração de paradigmas e no desenvolvimento de técnicas inovadoras para o sequenciamento de DNA em larga escala (Turchetto-Zolet, 2017; Pacheco et al., 2019; Silva et al., 2022).

A era pós-sequenciamento foi marcada pelo surgimento da genômica funcional que tem como objetivo principal determinar a função para os diversos genes sequenciados, as análises passaram a reduzir seu custo após a evolução de técnicas de sequenciamento. Basicamente a função de um gene é determinada quando são identificados os seus produtos gênicos (RNAs, proteínas e metabólitos). Semelhante à palavra genoma que designa o conjunto de todos os

genes de um organismo, os conjuntos dos respectivos produtos gênicos também receberam uma terminação (ou sufixo) “oma”, os níveis ômicos, abrange: a transcriptoma (sequências e níveis de RNA), a proteoma (o conjunto de proteínas presentes na amostra), metaboloma (o conjunto de metabólitos) (Villas-Bôas et al., 2005; Liu & Li, 2012; Krzyszczyk et al., 2018; Pacheco et al., 2019).

O estudo do metaboloma vegetal se tornou uma realidade graças ao desenvolvimento da Metabolômica. As plantas, sendo a base do funcionamento do ecossistema, são responsáveis por iniciar o fluxo de energia e fornecer os recursos essenciais par a biosfera terrestre como um todo (Canuto et al., 2018). Além disso, elas desempenham um papel fundamental no suporte às necessidades básicas da civilização, sendo utilizadas para produzir: fármacos, alimentos, papel, celulose e muito mais. Devido à importância e amplitude das plantas, é necessário conhecer as vias metabólicas dos vegetais e todos os metabolitos presentes e o quanto esses podem ser importante para o desenvolvimento humano e para elucidações cientificas que podem ser a base para novas descobertas (Canuto et al., 2018; Pilon et al., 2020).

Objetivou-se, portanto, apresentar um compilado de estudos sobre metabolômica na área vegetal, mostrando os avanços dos estudos sobre este assunto ao longo dos anos, por meio de uma revisão de literatura.

2. Material e Métodos

A pesquisa foi conduzida utilizando uma revisão de literatura integrativa qualitativa. Essa metodologia permite uma análise completa do tema em questão, incluindo estudos experimentais e não-experimentais. A nossa abordagem para a estratégia de busca envolveu analisar e selecionar produções científicas, publicadas em bases de dados eletrônicas: *Google Acadêmico*, Portal de periódicos da Capes e *Scielo*. Para realizar a busca dos artigos nas bases de dados, foram utilizados os descritores tanto no português quanto no inglês, utilizando uma variedade de descritores para a busca: “Metabolômica”, “Metabolômica vegetal”, “Metabolismo secundário das plantas”, “Metabólitos”.

Foram desconsiderados trabalhos como: Trabalho de Conclusão e Curso, Dissertação e Teses e publicações de artigos antigos, restringindo a pesquisa apenas para publicações de

artigos na área. Com base nos critérios de seleção adotados, obtiveram-se 46 artigos referentes ao tema proposto.

Os artigos foram lidos na íntegra, analisados, comparados e resumidos de modo que sejam aproveitados para alcançar o objetivo de estudo do tema escolhido. Estas delimitações foram estabelecidas em virtude de que os estudos na área da saúde, em especial se tratando das Ciências ômicas que apresentam ainda muitas lacunas que precisam ser melhores elucidadas. Após a identificação dos artigos selecionados para o estudo, foi executada leitura exploratória do mesmo, para observar a relação destes com o proposito pesquisado, examinaram se os artigos alcançados nas bases contemplaram a temática sugerida do estudo, obtendo os critérios de inclusão determinado. Tendo como objetivo abranger o desenvolvimento da pesquisa, foram levados em conta os estudos mais significativos que abordassem o tema.

3. Resultados

Com base nos 46 artigos encontrados, foi realizada a construção de um quadro de informações, levando em consideração 4 artigos com artigos pertinentes para essa pesquisa (Quadro 1).

Quadro 1. Artigos sobre metabolômica.

Título Artigo	Objetivos	Referências
Metabolômica: definições, estado-da-arte e aplicações representativas.	O intuito deste artigo de revisão é apresentar em linhas gerais o fluxograma de trabalho da metabolômica, com ênfase em algumas particularidades e, por fim, destacar artigos de revisão e aplicações em análises global e alvo das grandes áreas estudadas sob o ponto de vista da metabolômica.	(Canuto et al., 2018)

Estudo químico das principais vias do metabolismo secundário vegetal: uma revisão bibliográfica.	Mostrar a importância química dos metabólitos secundários no organismo do vegetal, e demonstrar a relevância do estudo da diversidade vegetal na identificação de substâncias ativas, componentes que apresentam caráter terapêutico e/ou tóxico.	Barreto; De Gaspi.; De Oliveira (2020)
Metabólitos secundários de plantas.	Abordar aspectos gerais de metabólitos secundários de plantas como os terpenos, compostos fenólicos e compostos nitrogenados sobre a importância, biossíntese e ação contra estresse abiótico e/ou biótico.	(Pacheco & Alves, 2020)
Metabolômica de plantas: métodos e desafios.	Resumir os principais procedimentos que envolvem as etapas do processo metabolômico vegetal.	(Pilon et al., 2020)

Canuto et al. (2018), ao analisar vários estudos, com o intuito de apresentar as definições que permeiam as análises metabolômicas realizadas. Destaca artigos e aplicações em análise global e alvo de grandes áreas estudadas sob o ponto de vista da metabolômica. Já o estudo de Barreto et al., (2020), realizou um estudo do funcionamento e da ação efetiva dos metabólitos secundários nas plantas para compreensão de seus mecanismos de defesa e possível execução dessas aplicações em técnicas terapêuticas, com a finalidade de realizar um levantamento sobre os processos químicos de biossíntese e funcionamento dos metabólitos secundários vegetais, focando na compreensão de mecanismos de defesa e também na importância da diversidade de espécies na identificação de suas substâncias químicas com ação biológica.

Pacheco & Alves (2020), em seu estudo, realizou uma revisão sobre os metabólitos secundários e sua importância, além da biossíntese e ação contra estresse abiótico e/ou biótico, concluíram que os metabólitos secundários podem ser pesquisados mais a fundo e serem utilizados numa agricultura biorracional como alternativa para redução no uso de pesticidas de alto custos e prejudiciais aos seres humanos e meio ambiente. Já Pilon et al. (2020), acredita que os estudo sobre metabolômica pode obter avanços significativos nos estudos intra-ômicos, esses estudos irão se aprofundar em mecanismos específicos, com grandes avanços científicos, onde a metabolômica será uma peça fundamental na compreensão dos processos metabólicos.

A metabolômica vegetal é uma abordagem científica avançada que utiliza técnicas analíticas de alta resolução para investigar os perfis metabólicos de plantas de forma completa e sistemática. Através da utilização de técnicas como espectrometria de massas e ressonância magnética nuclear, é possível separar e identificar compostos, permitindo a detecção e quantificação de um grande número de metabólitos em uma única amostra. Essa abordagem nos proporciona uma visão detalhada dos processos metabólicos que ocorrem dentro de uma planta. Além disso, a metabolômica vegetal tem se mostrado bastante útil na identificação de biomarcadores relacionados a características específicas de uma planta, como resistência a doenças ou adaptação a condições adversas. Em suma, a metabolômica vegetal desempenha um papel fundamental no avanço do conhecimento sobre a fisiologia e bioquímica das plantas. Além disso, ela nos auxilia na identificação de alvos para a melhoria e a otimização de características desejáveis em culturas agrícolas (Funari et al., 2013; Pilon et al., 2020).

Quadro 2. Definições da metabolômica.

Palavra-chave	Definição	Referência
Metabolôma	Refere-se ao estudo qualitativo e quantitavo de metabólitos em sistemas biológicos para relacionar variações dos metabólitos com mudanças genéticas ou perturbações nas condições ambientais.	(Bino et al., 2004; Hall., 2006; Baddini et al., 2014)
Metabolismo	Considerado o conjunto de reações químicas que estão ocorrendo continuamente na célula.	(Kim et al., 2011)

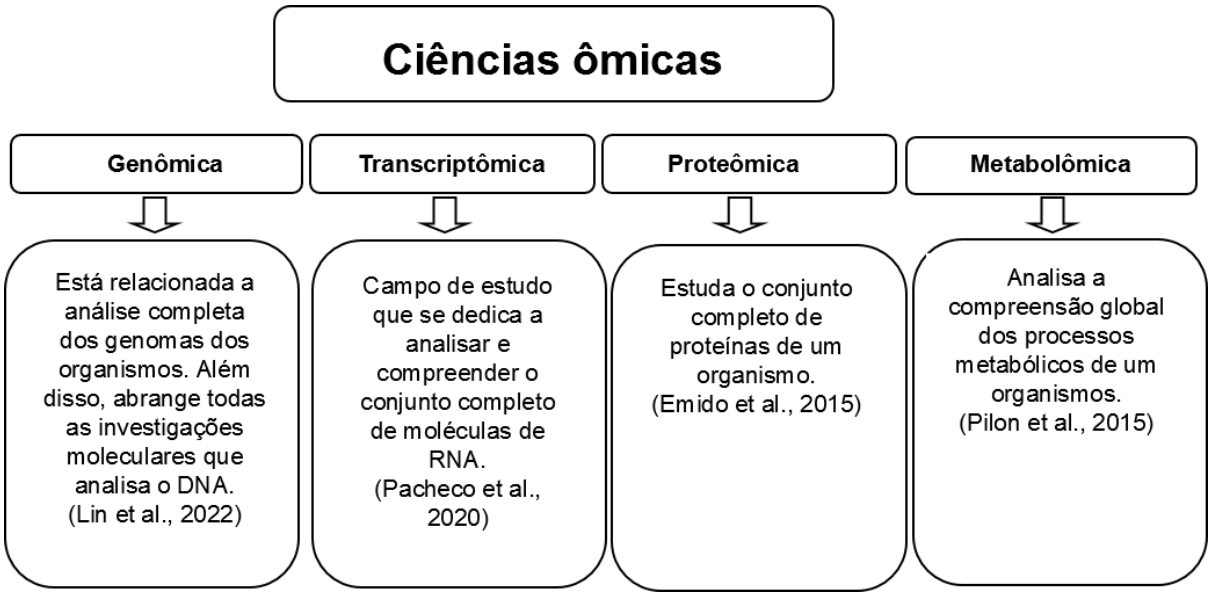
Rotas metabólicas	Refere-se aos caminhos químicos específicos que ocorrem no interior das células de um organismo vivo para a realização de processos metabólicos, nessas há a presença de enzimas específicas que direcionam essas reações.	(BINO et al., 2004; Baddini et al., 2014)
Metabólitos	São substâncias químicas formadas, degradadas ou transformada, resultante dos metabolismos de diversos compostos. Estes desempenham um papel crucial na manutenção da homeostase do corpo, atuando como intermediários nas reações metabólicas. Os metabólitos podem ser divididos em primários e secundários.	(Kim et al., 2011)
Metabólitos primários e secundários	São substâncias químicas produzidas pelas células de organismos vivos como resultado de reações metabólicas.	(Kim et al., 2011)

No Quadro 2, o metabolôma é o conjunto de todos os metabólitos presentes em uma célula, tecido ou organismo em um determinado momento. O metabolismo, por sua vez, é conjunto de processos químicos que ocorrem dentro dos seres vivos para manter sua vida e funcionamento adequado. As rotas metabólicas, por sua vez, são sequências de reações químicas que convertem um composto inicial em um produto final específico. Durante essas reações químicas, ocorrem transformações dos metabólitos, que são moléculas envolvidas no metabolismo. Os metabólitos podem ser classificados em primário e secundários, os metabólitos primários são essenciais para o crescimento e desenvolvimento dos organismos, além de estarem envolvidos nas vias metabólicas centrais, como a geração de energia e a síntese de macromoléculas. Já os metabólitos secundários são produzidos por algumas espécies em resposta a estresses ambientais ou como mecanismo e defesa contra predadores, podendo ter funções antioxidantes, antimicrobianas, entre outras. Entender o metabolôma, as rotas metabólicas e a diversidade de metabólitos primários e secundários são essenciais para compreender e prever o funcionamento dos organismos em diferentes contextos, sendo importante para áreas como a nutrição, farmacologia e biotecnologia (Kim et al., 2011; Barreto et al., 2020; Pilon et al., 2020).

Um estudo significativo no qual a metabolômica faz parte é no estudo das ciências ômicas,

essa área gerou uma evolução em várias áreas de estudo, como estudo na área da saúde, pesquisa, entre outras. Abrindo um extenso leque de informações pertinente para o aprimoramento dos estudos (Figura 3).

Figura 3. Estudo das Ciências ômicas (Fonte: Autor, 2023)



A genômica é um campo da biologia molecular que estuda os genomas, ou seja, a totalidade do material genético de um organismo. O avanço das técnicas de sequenciamento genético e análise de DNA tem permitido aos pesquisadores explorarem de forma sistemática e em largar escala as informações contidas nos genomas, desvendando segredos fundamentais sobre a hereditariedade, a evolução e a função dos genes. A genômica tem se mostrado uma ferramenta indispensável em diversas áreas da biologia, da medicina e da agricultura, fornecendo informações valiosas sobre as bases genéticas das doenças e dos traços complexos, bem como auxiliando na identificação de genes de interesse agronômico. Além disso, análise genômica tem revolucionado a forma como se realiza a pesquisa em biologia, proporcionando uma visão panorâmica do genoma e permitindo a identificação de mutações específicas. Dessa forma a genômica tem contribuído de forma significativa para o avanço do conhecimento e o desenvolvimento de terapias e técnicas mais precisas e personalizadas (Góes & De Oliveira, 2014; Matos et al., 2023; Soares et al., 2023).

A transcriptômica é um campo de estudo da biologia molecular que se dedica analisar e

compreender o conjunto completo de moléculas de RNA presentes. Há técnicas avançadas, como a RNA-seq, a transcriptômica permite o mapeamento e a quantificação do transcrito, ou seja, dos transcritos de RNA mensageiro (mRNA), que são expressos pelos genes de um organismo em particular. Essa abordagem é essencial para elucidar os mecanismos genéticos e biológicos envolvidos em diferentes processos celulares e patologias, servindo de base para o desenvolvimento de novas terapias. A transcriptômica permite uma ampla quantidade de informações, desempenhando um papel fundamental na descoberta de alvos terapêuticos e na identificação de biomarcadores, que podem servir de base para várias áreas, como a medicina, a agricultura, a biotecnologia e outras (Julca et al., 2021; Shaw et al., 2021; Pacheco et al., 2023).

Através da proteômica é possível ter acesso ao conjunto completo de proteínas de um organismo, a proteômica tem se mostrado essencial para entender a função das proteínas, além de, a partir dessas informações ser possível correlaciona informações e entender a relação, por exemplo: de uma doença e sua vias para a cura. A partir de informações obtidas através da espectrometria de massas e análise de expressão gênica, a proteômica permite a identificação e a quantificação de milhares de proteínas em uma amostra, possibilitando uma visão abrangente do proteoma. Através da proteômica é possível obter informações de modificações pós-traducionais das proteínas, como fosforilação e glicosilação, que desempenham um papel fundamental na regulação e função das proteínas. Além disso, através da proteômica é possível se obter avanços científicos significativos, que podem ser utilizados na saúde direcionado a terapias para a saúde humana (Kelly, 2020; Mcardle & Menikou, 2021; Suhre et al., 2021; Vistain & Tay, 2021)

Os processos metabólicos é algo comum nos organismos vivos, a metabolômica permite a compreensão global dos processos metabólicos, é possível identificar e quantificar os metabólitos presentes. Além disso, a metabolômica também desempenha um papel fundamental na descoberta de biomarcadores, que podem ser avaliados em diferentes organismos, por exemplo: plantas, animais. E fornecer informações importantes, como a identificação de padrões metabólicos distintos e a compreensão de suas implicações funcionais, sendo uma ferramenta importante. Além disso, a metabolômica tem um potencial de

revolucionar, sendo uma ferramenta essencial para pesquisadores e profissionais das áreas biológicas e da saúde, que busca a compreensão mais profunda dos processos metabólicos (Pilon et al., 2020; Barrales-Cureño et al., 2022; Matos et al., 2023).

4. Discussão

O estudo sobre: genômica, transcriptômica, proteômica e metabolômica gera uma relevância para o estudo na área vegetal, permitindo um vasto aprofundamento dos estudos das plantas. Pois, o uso das ciências ômicas, geram muitas informações cruciais e grande relevância para a pesquisa com plantas, gerando uma vasta quantidade de informações, que são importantes para a identificação de biomarcadores que são relevantes para o entendimento e o funcionamento das plantas. A genômica, permite a identificação do conjunto completo dos genes, desvendando os segredos guardados na sequência do DNA, permitindo a identificação de genes específicos, que pode servir de base para a compreensão do organismo em estudo, abrindo portas para uma melhor compreensão e aprofundamento da genética das plantas. Além, de fornecer informações significativas para a investigação em outras áreas da biologia vegetal (Emido et al., 2015; Pacheco et al., 2020; Pilon et al., 2020; Lin et al., 2022).

A transcriptômica, permite a análise dos transcritos, que são as moléculas de RNA que são sintetizadas a partir das informações presentes nos genes. A partir dessas informações, é possível mapear os padrões de expressão gênica em diferentes condições ambientais, ou em resposta a estímulos específicos. Essa investigação detalhada abre portas para a compreensão dos mecanismos de regulação gênica e para a descoberta de genes-chave que controlam processos fundamentais nas plantas. Além disso, a proteômica permite a identificação e caracterização das proteínas que foram produzidas a partir das informações presentes nos genes. Essas moléculas desempenham inúmeros papéis importantes para as plantas, a exemplo da catálise de reações metabólicas e na resposta a estresses bióticos e abióticos. Ao traçar o perfil proteico das plantas, é possível desvendar os mecanismos moleculares que sustentam suas respostas aos desafios do ambiente, como as defesas contra patógenos ou as adaptações à disponibilidade de nutrientes (Mcardle & Menikou, 2021; Vistain & Tay, 2021; Shaw et al., 2021; Pacheco et al., 2023).

A metabolômica, permite a identificação do perfil completo dos metabólitos primários e secundários presentes nas plantas, disponibilizando informações importantes para a o entendimento das reações bioquímicas e vias metabólicas. A presença de enzimas específicas direciona essas reações, estabelecendo o que se denomina de rotas metabólicas. Os compostos químicos formados, degradados ou transformados são chamados de metabólitos. Esses compostos químicos podem ser divididos em dois grandes grupos, metabólitos primários e secundários (Vaishnav & Demain, 2011; Pilon et al., 2020). O uso combinado das ciências ômicas, oferece informações valiosas para entender o funcionamento das plantas. Além, disso, estudos mais profundos nessa área permite a obtenção de informações importantes que pode servir de base para várias áreas de estudo, como a saúde, alimentação, meio ambiente, bem como, revolucionar a botânica (Pilon et al., 2020; Barrales-Cureño et al., 2022; Matos et al., 2023).

De forma geral, o arsenal químico micromolecular do metabolismo secundário tem mostrado uma importância econômica indiscutível, principalmente pela vinculação à química fina, para a produção de fragrâncias, tintas, alimentos, fármacos, inseticidas, corantes, antioxidantes, cosméticos, estimulante, veneno, bem como agentes terapêuticos. A possibilidade de modificação genética das plantas que produzem produtos que abre uma excitante perspectiva de pesquisa sobre a biossíntese desses metabólitos e sobre o mecanismo de formação dessas vias metabólitos e sobre o mecanismo de formação dessas vias metabólicas em nível celular (Pinto et al, 2002; Aharoni & Galili, 2011; Pilon et al., 2020). Levando tudo acima em consideração a engenharia metabólica para estimular os níveis das moléculas dos metabolismos secundários em plantas, hoje me dia em plantas é um grande desafio para a biotecnologia vegetal (Aharoni & Galili, 2011).

5. Conclusão

A compreensão da importância das ômicas citadas neste estudo é importante para as abordagens científicas que nos ajudam a desvendar novas informações sobre os estudos com plantas. A integração dessas abordagens gera um panorama completo e detalhado do funcionamento das plantas, permitindo que compreendamos melhor como a plantas reagem aos

estímulos do ambiente, como se adaptam às condições adversas. Além disso, a genômica, a transcriptômica, proteômica e metabolômica possuem um papel fundamental no avanço da pesquisa com plantas, fornecendo conhecimentos essenciais para o desenvolvimento de novas estratégias agrícolas, melhoramento genético e preservação da biodiversidade e para uma agricultura mais sustentável, com maior produtividade e menor impacto no meio ambiente.

Referências

Aharoni, A., & Galili, G. (2011). Metabolic engineering of the plant primary–secondary metabolism interface. *Current opinion in biotechnology*, *22*(2), 239-244. https://doi.org/10.1016/j.copbio.2010.11.004.

Baddini, A. L. Q., Netto, A. D. P., & Teixeira, V. L. (2014). Metabolômica baseada em rmn de 1h e no método dos mínimos quadrados parciais discriminante. *Revista virtual de Química*, *6*(2), 396-415. https://doi.org/10.5935/1984-6835.20140028

Barrales-Cureño, H. J., Herrera-Cabrera, B. E., Montiel-Montoya, J., López-Valdez, L. G., Salgado-Garciglia, R., Ocaño-Higuera, V. M., ... & Zaragoza-Martinez, F. (2022). Metabolomics studies of allelopathy: a review. *Revista Colombiana de Ciencias Químico-Farmacéuticas*, *51*(1), 243-274. http://dx.doi.org/10.15446/rcciquifa.v51n1.102693

Barreto, S. F., de Gaspi, F. O. G., & De Oliveira, C. F. (2020). Estudo químico das principais vias do metabolismo secundário vegetal: uma revisão bibliográfica. *Revista Científica da FHO| Uniararas*, *8*(1), 60-72. https://doi.org/10.55660/revfho.v8i1.11

Bino, R. J., Hall, R. D., Fiehn, O., Kopka, J., Saito, K., Draper, J., ... & Sumner, L. W. (2004). Potential of metabolomics as a functional genomics tool. *Trends in plant science*, *9*(9), 418-425. https://doi.org/10.1016/j.tplants.2004.07.004

Canuto, G. A., Costa, J. L. D., Cruz, P. L. D., Souza, A. R. L. D., Faccio, A. T., Klassen, A., ... & Tavares, M. F. (2018). Metabolômica: definições, estado-da-arte e aplicações representativas. *Química Nova*, *41*(1), 75-91. https://doi.org/10.21577/0100-4042.20170134

Emidio, N. B., Carpanez, A. G., Quellis, L. R., Farani, P. S., Vasconcelos, E. G., & Faria-Pinto, P. (2015). Proteômica: uma introdução aos métodos e aplicações. *HU Revista*, *41*(3 e 4).

Funari, C. S., Castro-Gamboa, I., Cavalheiro, A. J., & Bolzani, V. D. S. (2013). Metabolômica, uma abordagem otimizada para exploração da biodiversidade brasileira: estado da arte, perspectivas e desafios. *Química Nova*, *36*, 1605-1609. https://doi.org/10.1590/S0100-40422013001000019

Góes, A. C. D. S., & Oliveira, B. V. X. D. (2014). Projeto Genoma Humano: um retrato da construção do conhecimento científico sob a ótica da revista Ciência Hoje. *Ciência & Educação (Bauru)*, *20*, 561-577. https://doi.org/10.1590/1516-73132014000300004

Hall, R. D. (2006). Plant metabolomics: from holistic hope, to hype, to hot topic. *New phytologist*, *169*(3), 453-468. https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2005.01632.x.

Julca, I., Ferrari, C., Flores-Tornero, M., Proost, S., Lindner, A. C., Hackenberg, D., ... & Mutwil, M. (2021). Comparative transcriptomic analysis reveals conserved programmes underpinning organogenesis and reproduction in land plants. *Nature Plants*, *7*(8), 1143-1159. https://doi.org/10.1038/s41477-021-00958-2

Kelly, R. T. (2020). Single-cell proteomics: progress and prospects. *Molecular & Cellular Proteomics*, *19*(11), 1739-1748. https://doi.org/10.1074/mcp.R120.002234

Kim, H. K., Choi, Y. H., & Verpoorte, R. (2011). NMR-based plant metabolomics: where do we stand, where do we go?. *Trends in biotechnology*, *29*(6), 267-275. https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2011.02.001

Krzyszczyk, P., Acevedo, A., Davidoff, E. J., Timmins, L. M., Marrero-Berrios, I., Patel, M., ... & Yarmush, M. L. (2018). The growing role of precision and personalized medicine for cancer treatment. *Technology*, *6*(03n04), 79-100. https://doi.org/10.1142/S2339547818300020

Lin, M., Ficke, A., Dieseth, J. A., & Lillemo, M. (2022). Genome-wide association mapping of septoria nodorum blotch resistance in Nordic winter and spring wheat collections. *Theoretical and Applied Genetics*, *135*(12), 4169-4182. https://doi.org/10.1007/s00122-022-04210-z.

Liu, L., & Li, Z. (2012). Bridging the basic biomedical researches and clinical practices with biomedical informatics. *Journal of Translational Medicine*, *10*(Suppl 2), A52. https://doi.org/10.1186/1479-5876-10-S2-A52

McArdle, A. J., & Menikou, S. (2021). What is proteomics?. *Archives of Disease in Childhood-Education and Practice*, *106*(3), 178-181. https://doi.org/10.1136/archdischild-2019-317434

Pacheco Borges, L., & Alves Amorim, V. (2020). METABÓLITOS SECUNDÁRIOS DE PLANTAS. *Revista Agrotecnologia*, *11*(1), 01-14.

Pacheco, C., Ceccatto, V. M., Maia, C. M., Rosa, S. D. S. R. F., & Leite, C. R. M. (2019). Pesquisa translacional na era pós-genômica: avanços na área da transcriptômica. *Saúde em Debate*, *43*(spe2), 169-180. https://doi.org/10.1590/0103-11042019S213

Pilon, A. C., Selegato, D. M., Fernandes, R. P., Bueno, P. C., Pinho, D. R., Carnevale Neto, F., ... & Lopes, N. P. (2020). Metabolômica de plantas: métodos e desafios. *Química*

Nova, *43*, 329-354. https://doi.org/10.21577/0100-4042.20170499

Pinto, A. C., Silva, D. H. S., Bolzani, V. D. S., Lopes, N. P., & Epifanio, R. D. A. (2002). Produtos naturais: atualidade, desafios e perspectivas. *Química nova*, *25 (1)*, 45-61. https://doi.org/10.1590/S0100-40422002000800009

Rocha, M., Massarani, L., Souza, S. J. D., & Vasconcelos, A. T. R. D. (2022). The past, present and future of genomics and bioinformatics: A survey of Brazilian scientists. *Genetics and molecular biology*, *45 (2)*, e20210354. https://doi.org/10.1590/1678-4685-GMB-2021-0354

Shaw, R., Tian, X., & Xu, J. (2021). Single-cell transcriptome analysis in plants: advances and challenges. *Molecular Plant*, *14*(1), 115-126. https://doi.org/10.1016/j.molp.2020.10.012

Silva, R. C., Lima, A., & da Silva Souza, L. C. (2022). Principais métodos de sequenciamento de DNA. *Scientific Electronic Archives*, *15*(10), 58-64.https://doi.org/10.36560/15820221603

Soares, J. A., Borges, E. F., Terrinha, D. S., do Carmo, V. L., do Valle, P. D. R., Cruz, R. M. S., ... & Martins, A. A. S. (2023). GENOMA HUMANO: 20 anos do sequenciamento que revolucionou a ciência. *Brazilian Journal of Implantology and Health Sciences*, *5*(3), 1168-1189. https://doi.org/10.36557/2674-8169.2023v5n3p1168-1189

Suhre, K., McCarthy, M. I., & Schwenk, J. M. (2021). Genetics meets proteomics: perspectives for large population-based studies. *Nature Reviews Genetics*, *22*(1), 19-37. https://doi.org/10.1038/s41576-020-0268-2.

Taroco, H. A., Lima, L. H. F., Reina, L. D. C. B., Gouvêia, M. A. D. S., Melo, M. L. O. F., Augusti, R., ... & Silva, D. P. (2023). Bioinformática aplicada às ciências ômicas: uma breve revisão bibliográfica. Tecnologia e inovação na agricultura: aplicação, produtividade e sustentabilidade em pesquisa, 1(1), 23-43.

Turchetto-Zolet, A. C., Turchetto, C., Zanella, C. M., & Passaia, G. (2017). Marcadores moleculares na era genômica: metodologias e aplicações. *Sociedade Brasileira de Genética*, 181 p.

Vaishnav, P., & Demain, A. L. (2011). Unexpected applications of secondary metabolites. *Biotechnology Advances*, *29*(2), 223-229. http://dx.doi.org/10.1016/j.biotechadv.2010.11.006.

Villas-Bôas, S. G., & Gombert, A. K. (2006). Análise do metaboloma: uma ferramenta biotecnológica emergente na era pós-genômica. *Biotecnologia Ciência e Desenvolvimento*, (36), 58-69.

Villas-Bôas, S. G., Rasmussen, S., & Lane, G. A. (2005). Metabolomics or metabolite profiles?. *TRENDS in Biotechnology*, *23*(8), 385-386.

Vistain, L. F., & Tay, S. (2021). Single-cell proteomics. *Trends in biochemical sciences*, *46*(8), 661-672. https://doi.org/10.1016/j.tibs.2021.01.013