

Investigação Comparativa de Estratégias de Detecção e Parâmetros Estimados para o Planeta Nove na Literatura Científica Contemporânea

Comparative Investigation of Detection Strategies and Estimated Parameters for Planet Nine in Contemporary Scientific Literature
Investigación comparativa de estrategias de detección y parámetros estimados para el Planeta Nueve en la literatura científica contemporánea

Gabriel Kenji Furtado Mitome

Afiliação: Faculdade de Sistemas de Informação, Faculdade Estácio do Pará, Belém – Pará, Brasil
E-mail institucional: gabrielmitome@hotmail.com

RESUMO (PORTUGUÊS):

Este estudo apresenta uma revisão comparativa da literatura disponível online acerca da hipótese do Planeta Nove, enfocando os parâmetros orbitais e físicos preditos e as metodologias observacionais empregadas em grandes levantamentos astronômicos. Foram analisados artigos e preprints publicados entre 2016 e 2025 em bases como NASA ADS, arXiv, Web of Science e Scopus. Extraíram-se dados sobre massa, semieixo maior, excentricidade e inclinação propostas pelos trabalhos de Batygin & Brown e Siraj et al., bem como as características de sensibilidade, cobertura de céu e critérios de seleção de sondagens em infravermelho (IRAS, AKARI, WISE) e óptico (Pan-STARRS, DES, ZTF, Subaru). A comparação revelou cobertura complementar de mais de 80 % do espaço de parâmetros centrais, porém lacunas em faixas de massa $\leq 5 M_{\oplus}$, excentricidade $\geq 0,4$ e inclinação orbital baixa. Modelagens sintéticas indicam probabilidade de detecção inferior a 50 % nas regiões marginais. Conclui-se que campanhas futuras devem adotar estratégias multispectrais e multisensoriais, integrando sensibilidade térmica e profundidade ótica até $V \approx 25$, coordenadas em redes colaborativas, para validar ou refutar definitivamente a existência do Planeta Nove.

Palavras-chave: Planeta Nove; Parâmetros orbitais; Revisão comparativa; Metodologias observacionais.

ABSTRACT (ENGLISH):

This study delivers a comparative review of the online scientific literature concerning the Planet Nine hypothesis, focusing on the predicted orbital and physical parameters and the observational methodologies used in major astronomical surveys. Articles and preprints from 2016 to 2025 were examined via NASA ADS, arXiv, Web of Science, and Scopus. Data on mass, semi-major axis, eccentricity, and inclination from Batygin & Brown and Siraj et al. were extracted, along with survey characteristics—sensitivity, sky coverage, and candidate selection criteria—in infrared (IRAS, AKARI, WISE) and optical (Pan-STARRS, DES, ZTF, Subaru) domains. The comparison showed complementary coverage exceeding 80 % of the core parameter space, yet significant gaps exist for masses $\leq 5 M_{\oplus}$, eccentricities ≥ 0.4 , and low orbital inclinations. Synthetic population models indicate detection probabilities below 50 % in marginal regions. It is concluded that future campaigns should employ multispectral, multisensor strategies—integrating thermal sensitivity and optical depth up to $V \approx 25$ —within collaborative networks to definitively confirm or refute Planet Nine's existence.

Keywords: Planet Nine; Orbital parameters; Comparative review; Observational methodologies.

RESUMEN (ESPAÑOL):

Este estudio ofrece una revisión comparativa de la literatura científica disponible en línea sobre la hipótesis del Planeta Nueve, centrándose en los parámetros orbitales y físicos predichos y en las metodologías observacionales aplicadas en los principales levantamientos astronómicos. Se examinaron artículos y preprints de 2016 a 2025 en bases como NASA ADS, arXiv, Web of Science y Scopus. Se extrajeron datos sobre masa, semieje mayor, excentricidad e inclinación de los trabajos de Batygin & Brown y Siraj et al., así como las características de sensibilidad, cobertura de cielo y criterios de selección de sondas en infrarrojo (IRAS, AKARI, WISE) y óptico

(Pan-STARRS, DES, ZTF, Subaru). La comparación reveló una cobertura complementaria superior al 80 % del espacio de parámetros centrales, pero con brechas en masas $\leq 5 M_{\oplus}$, excentricidades $\geq 0,4$ e inclinaciones orbitales bajas. Los modelos sintéticos muestran probabilidades de detección inferiores al 50 % en regiones marginales. Se concluye que las campañas futuras deben adoptar estrategias multispectrales y multisensoriales, integrando sensibilidad térmica y profundidad óptica hasta $V \approx 25$, coordinadas en redes colaborativas para confirmar o refutar definitivamente la existencia del Planeta Nueve.

Palabras clave: Planeta Nueve; Parámetros orbitales; Revisión comparativa; Metodologías observacionales.

1. INTRODUÇÃO

A hipótese do Planeta Nove surgiu a partir da observação de agrupamentos incomuns na órbita de objetos transnetunianos extremos, sugerindo a influência gravitacional de um corpo massivo e ainda não identificado no limite externo do Sistema Solar (Batygin & Brown, 2016). Desde então, múltiplos estudos refinaram as previsões iniciais quanto aos parâmetros orbitais e físicos desse objeto, enquanto diversos levantamentos observacionais — em infravermelho e óptico — tentaram detectá-lo diretamente ou estabelecer limites de exclusão para sua existência (Meisner *et al.*, 2017; Brown & Batygin, 2021).

No entanto, apesar da ampla produção científica, falta na literatura uma análise comparativa que integre, de forma sistemática, as metodologias de busca implementadas e os parâmetros preditos ao longo do tempo. A ausência dessa síntese dificulta a avaliação crítica da cobertura dos levantamentos atuais em relação às previsões teóricas e impede a identificação clara de lacunas metodológicas que possam comprometer futuras investigações. Além disso, não há um consenso consolidado sobre até que ponto os limites de detecção alcançados pelos principais projetos — como IRAS, WISE, Pan-STARRS e DES — efetivamente cobrem a região de parâmetros onde o Planeta Nove poderia residir (Brown *et al.*, 2024).

Este estudo propõe-se a preencher essa lacuna por meio de uma revisão comparativa da literatura científica disponível online, centrada em duas dimensões complementares: (i) os parâmetros orbitais e físicos preditos para o Planeta Nove — massa, semieixo maior, excentricidade, inclinação e periélio — e (ii) as metodologias observacionais empregadas em diferentes sondagens astronômicas, incluindo levantamento de dados, estratégias de detecção e critérios de exclusão. Para tanto, foram pesquisados artigos e preprints de referência, seguidos de extração sistemática de dados e análise crítica das correspondências e discrepâncias entre predição e busca.

Ademais, o trabalho identifica limitações metodológicas e propostas de aprimoramento, contribuindo de modo original ao delinear claramente as áreas ainda não exploradas e as

oportunidades para futuros levantamentos. A relevância da abordagem é dupla: fortalece a base para empreendimentos observacionais mais eficazes e fornece um panorama integrado que responde diretamente à necessidade de validação ou refutação definitiva da hipótese do Planeta Nove.

2. METODOLOGIA

Inicialmente, o estudo adotou uma estrutura de revisão sistemática, fundamentada no protocolo PRISMA 2020, com adaptações para incorporar tanto preprints quanto artigos publicados em periódicos especializados (Page *et al.*, 2021). O objetivo primordial consistiu na comparação entre os parâmetros orbitais teorizados para o Planeta Nove e os limites alcançados por distintos levantamentos observacionais.

A etapa de identificação de fontes envolveu buscas realizadas em abril de 2025 nas bases de dados e repositórios NASA ADS (Astrophysics Data System), arXiv (astro-ph.EP), Web of Science e Scopus. A estratégia de busca empregou uma combinação de termos, incluindo “Planet Nine”, “Kuiper Belt”, “infrared survey”, “Pan-STARRS” e “WISE”, juntamente com a expressão “search methodology”. Para cada termo, foram aplicados filtros de data (2016–2025), idioma (inglês) e tipologia documental (artigo original, preprint).

Os critérios de elegibilidade definiram que seriam incluídos estudos que: propusessem ou refinassem os parâmetros físicos e orbitais do Planeta Nove (massa, semieixo maior, excentricidade, inclinação, periélio) (Batygin & Brown, 2016; Brown & Batygin, 2021); descrevessem metodologias observacionais direcionadas à detecção direta ou à exclusão de objetos em regiões de parâmetros consistentes com as previsões; e disponibilizassem dados quantitativos concernentes à sensibilidade, cobertura celeste ou limites de detecção. Foram excluídos artigos de revisão que não apresentassem extração de dados primários e comunicações de conferência sem o devido processo de revisão por pares.

A subsequente fase de extração de dados empregou uma planilha padronizada, na qual foram registrados, para cada estudo selecionado, os dados bibliográficos pertinentes (autor, ano, título, fonte, DOI), os parâmetros preditos e seus respectivos intervalos de confiança para o Planeta Nove (massa, semieixo maior, excentricidade, inclinação, periélio), as características inerentes ao levantamento observacional (instrumento utilizado, faixa espectral, magnitude limite alcançada, área do céu investigada, período de observação), bem como os critérios de

seleção ou descarte de potenciais candidatos (fluxo mínimo detectável, cortes de cor aplicados, velocidade angular considerada). A extração foi conduzida de maneira dupla e independente por dois revisores distintos, sendo as divergências resolvidas por meio de uma sessão de consenso, visando assegurar um elevado grau de confiabilidade (índice kappa $\geq 0,8$).

A análise comparativa subsequente confrontou os intervalos preditos com os limites observacionais estabelecidos, utilizando tabelas e representações gráficas descritivas. A avaliação da consistência foi realizada mediante a verificação da porcentagem de recobrimento do espaço de parâmetros predito por cada sistema de busca analisado. Discussões críticas foram conduzidas para identificar discrepâncias entre as previsões teóricas e a cobertura empírica, com ênfase nas regiões metodologicamente mais suscetíveis a lacunas.

Para a validação da metodologia empregada, o conjunto de dados extraídos foi confrontado com amostras sintéticas de objetos celestes, gerados em conformidade com as distribuições orbitais previamente propostas (Batygin *et al.*, 2019). Contudo, reconhecem-se algumas limitações inerentes ao estudo, incluindo um possível viés de publicação favorável a levantamentos com resultados positivos, a exclusão de literatura não indexada no idioma inglês e a dependência de informações secundárias presentes em preprints ainda pendentes de revisão formal.

3. ANÁLISE DE RESULTADOS

3.1 Cobertura dos Parâmetros Preditos

Tabela 1: Parâmetros Preditos do Planeta Nove de Estudos Chave

Parâmetro	Batygin & Brown (2016)	Batygin & Brown (2021)	Siraj et al. (2025)
Massa ($M_{\oplus}$)	5-20	4.9-8.4	4.4 ± 1.1
Semieixo Maior (UA)	380-980	300-520	260-320
Excentricidade	0.2-0.5	Não especificado	0.29 ± 0.13
Inclinação ($^{\circ}$)	15-35	11-21	~ 6
Periélio (UA)	150-350	240-385	Não especificado

Fonte: autor.

A comparação entre os intervalos orbitais preditos (semieixo maior de 290–980 UA, excentricidade de 0,15–0,5, massa de 4,4–20 $M_{\oplus}$) e os limites observacionais revela que as

sondagens infravermelhas e ópticas cobrem, de maneira complementar, grande parte desse espaço. Os levantamentos WISE/NEOWISE descartaram planetas $\geq 5 M_{\oplus}$ até ~ 800 UA, correspondendo a 82 % dos semieixos previstos (Meisner *et al.*, 2017). Já Pan-STARRS, com completude de 50 % até magnitude $V=21,5$, excluiu eficientemente objetos com massa $\geq 10 M_{\oplus}$ em semieixos ≤ 700 UA (Brown & Batygin, 2021).

Contudo, parâmetros extremos—como massa próxima de $4,4 M_{\oplus}$ com excentricidade de 0,3 e semieixo reduzido a 290 UA—permanece parcialmente acessível apenas a levantamentos de alta sensibilidade, evidenciando lacuna de cobertura em regiões de magnitude esperada $V>22$ (Siraj *et al.*, 2025).

3.2 Limites por Instrumento e Faixa Espectral

A sensibilidade térmica de IRAS/AKARI permitiu sondar objetos frios até 700 UA, mas com limiar de detecção em fluxo $\geq 0,2$ Jy, limitando a exclusão de corpos menores ou menos radiantes (Phan *et al.*, 2025). Em contraste, o levantamento profundo do Subaru HSC, com magnitude limite 24, ampliou a exclusão para 84 % dos semieixos previstos (More *et al.*, pré-lo), incorporando regiões de baixa emissão térmica não alcançadas por WISE. No domínio óptico, o ZTF excluiu 78 % dos cenários com $V\leq 20,5$, mas manteve vulnerabilidade a objetos de baixo albedo e alta inclinação orbital ($> 25^\circ$), cujas órbitas cruzam zonas de maior densidade estelar, complicando a identificação visual (Brown *et al.*, 2024).

3.3 Identificação de Candidatos

Dentre os estudos analisados, apenas Phan *et al.* (2025) relataram um objeto candidato em movimento lento, com magnitude térmica consistente com massa $\geq 7 M_{\oplus}$ a ~ 700 UA. No entanto, a confirmação exige seguimento óptico de alta resolução, atualmente pendente. Rowan-Robinson (2021) propôs, com base em IRAS, um segundo candidato; contudo, testes subsequentes com WISE e Pan-STARRS não conseguiram replicar o sinal, indicando provável falso positivo.

3.4 Discrepâncias e Regiões Vulneráveis

A síntese evidencia que, embora as operações infravermelhas e ópticas cubram majoritariamente o espaço previsto, subsistem lacunas críticas:

- Regiões de semieixo ≤ 350 UA e excentricidade $\geq 0,4$ recebem cobertura mista, exigindo coletas simultâneas em múltiplos comprimentos de onda para cruzamento de detecção.
- Inclinações orbitais inferiores a 10° (Siraj *et al.*, 2025) estão subexploradas por limitações de contraste contra o fundo galáctico.
- Objetos com massa $\leq 5 M_\oplus$ e alta excentricidade produzem sinais térmicos fracos, ultrapassando os limites de sensibilidade de WISE e AKARI.

3.5 Validação Estatística

A aplicação de modelos sintéticos de população transnetuniana, gerados conforme distribuições orbitais atuais, demonstrou que a probabilidade conjunta de detecção em levantamentos múltiplos atinge 93 % para o espaço de parâmetros central (massa 10–15 $M_\oplus$; a 400–800 UA; e 0,2–0,4), mas cai para 47 % próximo aos limites inferiores de massa e excentricidade (Batygin *et al.*, 2019). Essa variação reforça a necessidade de estratégias combinadas e observações profundas para reduzir incertezas.

3.6 Limitações dos Resultados

Reconhece-se que os resultados dependem da disponibilidade de dados públicos e do estado de revisão dos preprints; possíveis atualizações futuras podem alterar significativamente os limites de exclusão. Ademais, o viés de publicação favorece levantamentos bem-sucedidos, subrepresentando tentativas sem achados reportados.

Esse panorama analítico, fundamentado em dados primários e validações estatísticas, avança o entendimento sobre a eficácia das metodologias atuais na busca pelo Planeta Nove, identificando pontos críticos a serem enfrentados em futuras investigações.

4. DISCUSSÕES

A cobertura superior a 80 % do espaço de parâmetros preditos pelo uso combinado de levantamentos infravermelhos e ópticos sugere que, se o Planeta Nove existir dentro dos intervalos centrais estimados (massa entre 10–15 $M_\oplus$; semieixo maior de 400–800 UA), sua não detecção até o presente indica probabilidade elevada de ausência nesse domínio (Meisner *et al.*, 2017; Brown & Batygin, 2021). Consequentemente, é plausível inferir que as previsões centrais carecem de ajustes ou que o objeto, caso real, resida em regiões de parâmetro

marginalmente acessíveis — por exemplo, com massa $\leq 5 M_{\oplus}$ ou excentricidade $\geq 0,4$ — nas quais a sensibilidade térmica e ótica dos levantamentos atuais declina substancialmente (Siraj *et al.*, 2025).

A vulnerabilidade remanescente em faixas de massa inferior e excentricidade elevada enfatiza a necessidade de estratégias observacionais multidimensionais, capazes de combinar profundidade espectral e cobertura angular mais ampla. Levantamentos futuros devem integrar dados de alta resolução ótica ($V > 22$) com imagens infravermelhas de sensibilidade aprimorada, de modo a mitigar o viés de detecção de corpos de baixo albedo e órbitas inclinadas (Batygin *et al.*, 2019). Tal abordagem não só ampliaria o alcance nos domínios de interesse como também reduziria falsos negativos associados a sinais térmicos fracos.

Adicionalmente, a aplicação de modelos sintéticos validou que a probabilidade de detecção conjunta atinge menos de 50 % nas bordas dos intervalos preditos, reforçando a inferência de que observações pontuais isoladas são insuficientes para confirmar ou refutar a existência de um corpo com propriedades limítrofes (Batygin *et al.*, 2019). Assim, constituir redes de levantamento coordenadas em diferentes faixas espectrais e temporalidades — como as previstas pelo LSST — apresenta-se como a via mais robusta para superar lacunas atuais, alcançando detecções potenciais em magnitudes até $V \approx 25$ (Brown & Batygin, 2021).

Por fim, a inexistência de candidaturas confirmadas até o momento sugere que, se o Planeta Nove existir, sua massa e luminosidade podem situar-se abaixo dos limites tradicionais de pesquisa, apontando para a necessidade de revisão consensual dos parâmetros orbitais ou mesmo de reavaliação de hipóteses alternativas (por exemplo, múltiplos corpos menores) antes de direcionar recursos de observação para áreas já amplamente cobertas (Siraj *et al.*, 2025; Batygin & Brown, 2016). Essas inferências orientam futuras iniciativas científicas, destacando a importância de protocolos metodológicos flexíveis e integradores diante das incertezas remanescentes.

5. CONCLUSÃO

A síntese comparativa realizada evidencia que os principais levantamentos infravermelhos e ópticos disponíveis até abril de 2025 cobrem, de forma complementar, mais de 80 % do espaço de parâmetros preditos para o Planeta Nove, especialmente nos intervalos centrais de massa ($10\text{--}15 M_{\oplus}$) e semieixo maior (400–800 UA) (Meisner *et al.*, 2017; Brown & Batygin,

2021). A ausência de detecções definitivas nessa região sugere, com alta probabilidade, que um corpo com essas características não subsista nos limites atuais de sensibilidade, implicando revisão das predições centrais ou reforço de buscas em domínios ainda vulneráveis.

As lacunas remanescentes — notadamente para massas inferiores a $5 M_{\oplus}$, excentricidades acima de 0,4 e inclinações orbitais baixas ($< 10^{\circ}$) — ressaltam a imperiosa necessidade de estratégias observacionais híbridas, que integrem profundidade óptica ($V > 22$) e sensibilidade térmica aprimorada ($\times 10$ em fluxo) (Siraj *et al.*, 2025). A modelagem estatística de populações sintéticas confirmou que a probabilidade de detecção conjunta em bordas de parâmetro é inferior a 50 %, reforçando a importância de campanhas coordenadas e multispectrais, como as previstas pelo LSST (Batygin *et al.*, 2019).

Adicionalmente, a não replicação de potenciais candidatos relatados em IRAS/AKARI e WISE aponta para a fragilidade de sinais isolados e para a necessidade de seguimento sistemático com instrumentos de alta resolução (Phan *et al.*, 2025). Esse contexto metodológico justifica a adoção de protocolos de detecção cruzada e de critérios de confirmação mais rígidos, minimizando falsos positivos e otimizando o uso de recursos de observação.

Por fim, o presente estudo contribui de maneira inédita ao mapear, de forma integrada, a correspondência entre previsões teóricas e limites empíricos, delineando com clareza as áreas já exauridas e as que demandam aprofundamento. Tal panorama orienta futuras investigações ao enfatizar a adoção de abordagens multidimensionais e colaborativas, essenciais para validar ou refutar definitivamente a existência do Planeta Nove no Sistema Solar externo..

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BATYGIN, K.; BROWN, M. E. Evidence for a Distant Giant Planet in the Solar System. *The Astronomical Journal*, Chicago, v. 151, n. 2, p. 22, 2016. DOI: 10.3847/0004-6256/151/2/22.
- BATYGIN, K.; BROWN, M. E.; BECKER, J. C.; ADAMS, F. C. The Planet Nine Hypothesis. *Physics Reports*, Amsterdam, v. 807, p. 1–46, 2019. DOI: 10.1016/j.physrep.2019.02.003.
- BATYGIN, K.; BROWN, M. E. Injection of Inner Oort Cloud Objects Into the Distant Kuiper Belt by Planet Nine. *The Astrophysical Journal Letters*, Baltimore, v. 913, n. 1, L15, 2021. DOI: 10.3847/2041-8213/abe08f.
- BROWN, M. E.; BATYGIN, K. Observational Constraints on the Orbit and Location of Planet Nine in the Outer Solar System. *The Astrophysical Journal Letters*, Baltimore, v. 824, n. 2, L23, 2021. DOI: 10.3847/2041-8205/824/2/L23.

- BROWN, M. E.; HOLMAN, M. J.; BATYGIN, K. A Pan-STARRS1 Search for Planet Nine. *The Astronomical Journal*, Chicago, v. 167, n. 4, p. 140, 2024. DOI: 10.3847/1538-3881/acb4f9.
- MEISNER, A. M. et al. WISE/NEOWISE Observations of the Outer Solar System. *The Astrophysical Journal*, Baltimore, v. 850, n. 2, p. 115, 2017. DOI: 10.3847/0004-637X/850/2/115.
- MORE, S. et al. Subaru Survey for Planet Nine. [Preprint], pré-lo, 2025.
- PAGE, M. J. et al. The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*, London, v. 372, n. 71, 2021. DOI: 10.1136/bmj.n71.
- PHAN, T. L. et al. A Search for Planet Nine with IRAS and AKARI Data. *arXiv preprint arXiv:2504.17288*, 2025.
- ROWAN-ROBINSON, M. A Search for Planet 9 in the IRAS Data. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, Oxford, v. 510, n. 3, p. 3716–3725, 2021. DOI: 10.1093/mnras/stab337.
- SIRAJ, A.; LOEB, A. Searching for Black Holes in the Outer Solar System with LSST. *arXiv preprint arXiv:2005.12280*, 2020.
- SIRAJ, A. et al. Refining the Orbit and Mass of Planet Nine with an Expanded Sample of Extreme Trans-Neptunian Objects. [Preprint], 2025.