ReGeo ISSN: 2177-3246

AS ESCRITURAS E A TERMODINÂMICA: EXPLICANDO O IMPACTO COGNITIVO DE EVENTOS BÍBLICOS DE BAIXA PROBABILIDADE

SCRIPTURE AND THERMODYNAMICS: EXPLAINING THE COGNITIVE IMPACT OF LOW-PROBABILITY BIBLICAL EVENTS

LAS ESCRITURAS Y LA TERMODINÁMICA: EXPLICANDO EL IMPACTO COGNITIVO DE EVENTOS BÍBLICOS DE BAJA PROBABILIDAD

https://doi.org/10.56238/revgeov17n9-016

Data de submissão: 13/07/2026 **Data de publicação:** 27/08/2026

Mateus Corazza Neto
Graduação em Relações Internacionais
Instituição: Universidade Federal da Grande Dourados
E-mail: corazzamateus4@gmail.com
Orcid: https://orcid.org/0009-0008-5504-658X)

RESUMO

Este artigo desenvolve um framework formal para explicar o impacto cognitivo de milagres bíblicos ao integrar teoria da informação, termodinâmica e neurociência computacional. O tema central aborda como eventos de probabilidade quase-nula, ocorrendo em intervalos temporais mínimos, produzem impacto cognitivo irredutível nas testemunhas. O objetivo é demonstrar por que a potência assimilativa requerida pelo modelo preditivo do observador tende ao infinito conforme o intervalo temporal (Δt) aproxima-se de zero, causando colapso imediato do modelo mesmo mantendo o cérebro dentro de seu limite neurofisiológico de aproximadamente 20 W. A metodologia fundamenta-se na integração de Shannon (entropia da informação), Landauer (princípio termodinâmico), Balasubramanian (orçamento energético neural), Friston (Princípio da Energia Livre) e Jaynes (raciocínio plausível), introduzindo Δt como variável que distingue entre recuperação tecnológica gradual e eventos milagrosos instantâneos. Como estudos de caso, examina-se três narrativas bíblicas: Rei Ezequias (2 Reis 20), o paralítico (Marcos 2) e a fornalha de Nabucodonosor (Daniel 3). As conclusões apontam que o framework formal fornece base teórica robusta para compreender por que eventos de baixíssima probabilidade em tempo mínimo produzem impacto cognitivo irredutível, sem necessidade de postular origem sobrenatural dos eventos.

Palavras-chave: Teoria da Informação. Termodinâmica da Cognição. Codificação Preditiva. Milagres Bíblicos. Princípio da Energia Livre.

ABSTRACT

This paper develops a formal framework to explain the cognitive impact of biblical miracles by integrating information theory, thermodynamics, and computational neuroscience. The central theme addresses how events of near-zero probability occurring within minimal time intervals produce irreducible cognitive impact on witnesses. The objective is to demonstrate why the assimilative power required by the observer's predictive model tends toward infinity as the time interval (Δt) approaches zero, causing immediate model collapse even though the brain remains within its real neurophysiological limit of approximately 20 W. The methodology is grounded in the integration of Shannon (information entropy), Landauer (thermodynamic principle), Balasubramanian (neural energy budget), Friston (Free Energy Principle), and Jaynes (plausible reasoning), introducing Δt as a distinguishing variable between gradual technological recovery and instantaneous miraculous events. Three biblical narratives serve as case studies: King Hezekiah (2 Kings 20), the paralytic (Mark 2),

and Nebuchadnezzar's furnace (Daniel 3). The conclusions indicate that the formal framework provides a robust theoretical basis for understanding why events of extremely low probability in minimal time produce irreducible cognitive impact, without requiring the assumption of supernatural origins for the events.

Keywords: Information Theory. Thermodynamics of Cognition. Predictive Coding. Biblical Miracles. Free Energy Principle.

RESUMEN
Este artículo desarrolla un marco formal para explicar el impacto cognitivo de milagros bíblicos al integrar teoría de la información, termodinámica y neurociencia computacional. El tema central aborda cómo eventos de probabilidad casi nula, ocurriendo en intervalos temporales mínimos, producen impacto cognitivo irreducible en los testigos. El objetivo es demostrar por qué la potencia asimilativa requerida por el modelo predictivo del observador tiende al infinito conforme el intervalo temporal (Δt) se aproxima a cero, causando colapso inmediato del modelo incluso manteniendo el cerebro dentro de su límite neurofisiológico de aproximadamente 20 W. La metodología se fundamenta en la integración de Shannon (entropía de la información), Landauer (principio termodinámico), Balasubramanian (presupuesto energético neural), Friston (Principio de Energía Libre) y Jaynes (razonamiento plausible), introduciendo Δt como variable que distingue entre recuperación tecnológica gradual y eventos milagrosos instantáneos. Como estudios de caso, se examina tres narrativas bíblicas: Rey Ezequías (2 Reyes 20), el paralítico (Marcos 2) y el horno de Nabucodonosor (Daniel 3). Las conclusiones señalan que el marco formal proporciona base teórica robusta para comprender por qué eventos de bajísima probabilidad en tiempo mínimo producen impacto cognitivo irreducible, sin necesidad de postular origen sobrenatural de los eventos.

Palabras clave: Teoría de la Información. Termodinámica de la Cognición. Codificación Predictiva. Milagros Bíblicos. Principio de Energía Libre.

1 INTRODUÇÃO

Este artigo opera sob premissa histórica declarada: os relatos bíblicos analisados descrevem eventos reais conforme percebidos por suas testemunhas. O objetivo não é provar os eventos pela física — nenhuma física pode fazer isso. O objetivo é demonstrar formalmente por que eventos percebidos como de probabilidade próxima de zero, ocorrendo em intervalo de tempo mínimo, produzem impacto cognitivo irredutível nas testemunhas. A resposta cognitiva a eventos religiosos percebidos como miraculosos tem explicação física precisa, e é essa explicação que o presente trabalho desenvolve.

É necessário fixar uma distinção conceitual que percorre todo o argumento. O cérebro humano é um sistema biológico fisicamente limitado a aproximadamente 20 W de potência (Balasubramanian, 2021) — essa restrição neurofisiológica nunca é violada, nem hipoteticamente. O argumento não afirma que o cérebro gasta ou tenta gastar uma potência colossal ou infinita: isso seria fisicamente absurdo e contradiria a própria restrição biológica que o framework adota como premissa. O que o argumento afirma é distinto: a potência que seria necessária para que o modelo preditivo vigente assimilasse o evento dentro do intervalo de tempo em que ele ocorre tende ao infinito. É essa divergência formal — entre o que o modelo exigiria para assimilar o evento e o que o cérebro de fato possui — que produz o colapso imediato do modelo preditivo. O cérebro não gasta energia infinita; ele falha porque o requisito de assimilação excede infinitamente sua capacidade, e é a falha em si, não um gasto energético real, que o framework descreve.

O argumento articula oito princípios independentes — da teoria da informação, da termodinâmica clássica, da neurociência computacional e da epistemologia — em cadeia lógica sequencial. Cada princípio é fundamentado em fonte revisada por pares. A contribuição original do trabalho é a introdução da variável Δt como fator formal de distinção entre eventos graduais e instantâneos, com implicações diretas para a potência de assimilação exigida pelo modelo preditivo do observador.

1.1 ADENDO SOBRE O USO DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

A elaboração deste artigo contou com o auxílio do modelo Claude (Anthropic) para correção ortográfica, formatação e organização do texto. Todas as ideias, o argumento central, a identificação das fontes, o desenvolvimento do framework teórico e a introdução da variável Δt como distinção formal são de autoria exclusiva de Mateus Corazza Neto. A inteligência artificial atuou como ferramenta de apoio textual, não como geradora de conteúdo intelectual original. As fontes foram selecionadas, lidas e verificadas pelo autor antes de sua incorporação ao argumento.

2 O CÉREBRO OPERA POR RACIOCÍNIO PLAUSÍVEL

O ponto de partida é a natureza do raciocínio humano. Jaynes (2003) estabelece, na Seção 1.1 de Probability Theory: The Logic of Science, que o modo operacional padrão do cérebro não é a dedução lógica estrita, mas o raciocínio plausível — uma estimativa contínua de probabilidades:

> "A verdadeira lógica para este mundo é o cálculo das Probabilidades, que leva em conta a magnitude da probabilidade que está, ou deveria estar, na mente de um homem razoável." (JAYNES, 2003, p. 3, tradução nossa)

Jaynes ilustra com o exemplo do policial: ao ver um cavalheiro saindo de uma joalharia com vitrine quebrada carregando uma bolsa de joias, o policial conclui que há desonestidade — não por dedução lógica, mas por raciocínio plausível:

> "A evidência não tornavam a desonestidade do cavalheiro certa, mas a tornavam extremamente plausível." (JAYNES, 2003, p. 3, tradução nossa)

O cérebro funciona como mecanismo contínuo de estimativa de probabilidades, construindo modelos do que é plausível com base em experiência acumulada. A questão central é: o que acontece quando um evento de probabilidade próxima de zero ocorre, e o modelo vigente não tem como assimilá-lo?

2.1 INFORMAÇÃO É O INVERSO DA PROBABILIDADE

Shannon (1948) demonstrou que informação e probabilidade são matematicamente inversas. Na Seção 6 de A Mathematical Theory of Communication, define a entropia H como medida central da teoria da informação:

> "Quantities of the form H = −Σ pi log pi play a central role in information theory as measures of information, choice and uncertainty." (SHANNON, 1948, p. 11)

O Teorema 2 demonstra ser essa a única forma que satisfaz axiomas razoáveis de medida de informação:

> "The only H satisfying the three above assumptions is of the form: H = −K Σ pi log pi where K is a positive constant." (SHANNON, 1948, p. 11)

Shannon conecta essa quantidade diretamente à entropia da mecânica estatística:

> "The form of H will be recognized as that of entropy as defined in certain formulations of statistical mechanics where pi is the probability of a system being in cell i of its phase space." (SHANNON, 1948, p. 11)

A consequência direta é que quanto mais improvável um evento, maior a informação que ele carrega. Para um evento sem mecanismo físico conhecido — de probabilidade próxima de zero —, a informação $I = -\log_2(p)$ tende ao infinito. Essa divergência é uma propriedade da medida formal da informação, não uma afirmação sobre energia gasta; ela se torna relevante fisicamente apenas no momento em que se pergunta quanto trabalho seria necessário para que um sistema processasse essa informação — questão que os próximos princípios respondem.

2.2 O CUSTO FÍSICO DE PROCESSAR INFORMAÇÃO

Se informação tem medida matemática, ela também tem custo físico. Landauer (1961) demonstrou que operações lógicas irreversíveis necessariamente dissipam energia como calor:

> "It is argued that computing machines inevitably involve devices which perform logical functions that do not have a single-valued inverse. This logical irreversibility is associated with physical irreversibility and requires a minimal heat generation, per machine cycle, typically of the order of kT for each irreversible function." (LANDAUER, 1961, p. 261)

O mecanismo é quantificado na Seção 4: apagar um bit reduz a entropia do sistema em 0,6931 k por bit, e essa entropia deve aparecer como calor dissipado:

> "The entropy therefore has been reduced by k log2 2 = 0,6931 k per bit. The entropy of a closed system cannot decrease; hence this entropy must appear elsewhere as a heating effect, supplying 0,6931 kT per restored bit to the surroundings." (LANDAUER, 1961, p. 265)
> "The energy dissipation has an unavoidable minimum arising from the fact that the computer performs irreversible operations." (LANDAUER, 1961, p. 268)

Processar informação de alta entropia — decorrente de eventos de baixa probabilidade — exige trabalho físico real, medido em joules. Quanto maior a improbabilidade do evento, maior o trabalho que seria necessário para assimilar a informação que ele carrega dentro de um modelo preditivo.

Proposição 1 — Simetria Energética da Escrita e do Apagamento de Informação

Landauer demonstra que apagar um bit libera energia mínima de 0,6931 kT. O argumento exige um passo adicional, que se formaliza a seguir.

Proposição 1. Seja S um sistema físico fechado, e seja b um bit de informação registrado em S. Se o apagamento de b libera uma quantidade de energia $\Delta E \geq 0{,}6931$ kT no ambiente, então o ato de registrar (gravar) b em S necessariamente exigiu um aporte de energia $E_{gravação} \geq \Delta E$, suprido por uma fonte externa a S.

Demonstração. A Primeira Lei da Termodinâmica, enunciada por Halliday, Resnick e Walker (2016b, Cap. 18, Seção 18-5), estabelece que a energia interna de um sistema varia apenas em função de trocas de calor e trabalho com o ambiente:

> "A energia interna Eint de um sistema tende a aumentar, se acrescentamos energia na forma de calor Q, e a diminuir se removemos energia na forma de trabalho W realizado pelo sistema." (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2016b, p. 213)

> "A primeira lei da termodinâmica é uma extensão dessa lei para sistemas que não estão isolados [...] a energia pode entrar no sistema ou sair do sistema na forma de trabalho W ou calor Q." (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2016b, p. 213)

Disso decorre o Corolário da Conservação: nenhum processo físico pode gerar energia líquida positiva sem consumo equivalente de uma fonte externa. Suponha, por absurdo, que a Proposição 1 seja falsa — isto é, que exista algum procedimento físico de registrar b em S com custo energético nulo (E_gravação = 0). Sob essa suposição, seria possível construir o seguinte ciclo: (i) registrar b em S sem custo; (ii) apagar b, liberando $\Delta E \geq 0{,}6931$ kT no ambiente; (iii) repetir os passos (i) e (ii) indefinidamente. Cada iteração desse ciclo produziria um ganho líquido de energia ΔE para o ambiente, sem qualquer consumo correspondente de uma fonte externa — um processo que extrai trabalho positivo de um ciclo fechado sem suprimento equivalente. Isso constitui uma máquina de moto contínuo de primeira espécie, em violação direta da Primeira Lei. Como a Primeira Lei é estabelecida experimentalmente sem exceção conhecida, a suposição inicial é falsa. Logo, $E_{gravação} \geq \Delta E \geq 0{,}6931$ kT. ■

2.2.1 Corolário 1.1

A assimetria de Landauer é bidirecional: o custo energético do processamento de informação não se limita ao apagamento — é o ciclo completo de síntese e destruição da informação que precisa ser contabilizado. Quanto maior a informação $I = -\log_2(p)$ de um evento, maior o custo total $E_{gravação} + \Delta E$ do ciclo que um sistema físico precisaria realizar para registrá-la e processá-la.

Objeção e Resposta

A Proposição 1 convida a uma objeção natural, que deve ser enfrentada diretamente: existe alguma implementação física de escrita de informação que escape ao argumento por redução ao absurdo apresentado?

A objeção mais forte invoca processos termodinamicamente reversíveis: se a escrita de um bit pudesse ser realizada por um processo quase-estático e reversível — análogo à compressão isotérmica reversível de um gás —, o custo energético poderia, em princípio, tender a zero no limite reversível,

sem violar a Primeira Lei, pois nenhuma energia seria perdida como calor dissipado de forma irreversível.

Essa objeção é válida em sua forma local, mas não afeta a Proposição 1, por uma razão estrutural. O próprio Landauer (1961, p. 261) restringe seu argumento a operações logicamente irreversíveis — aquelas cuja função não admite inversa unívoca. Um registro reversível de informação, por definição, não apaga informação anterior sem preservá-la implicitamente em algum grau de liberdade do sistema combinado; ele apenas redistribui a entropia entre o sistema e um reservatório auxiliar de forma rastreável. Nesse regime, o processo de escrita reversível não gera, ao final do ciclo completo de escrita-e-apagamento, nenhum excedente de energia líquida: o custo dissipado no apagamento (0,6931 kT, no mínimo, conforme a Seção 4) permanece, no limite reversível, igual ao trabalho mínimo necessário para a escrita correspondente — a igualdade, não a desigualdade estrita, é o caso limite previsto pela própria Proposição 1, e não uma violação dela.

Em outras palavras: a Proposição 1 não afirma que toda escrita seja dissipativa — afirma que toda escrita tem custo energético mínimo igual ou superior ao que será liberado no apagamento correspondente. O caso reversível idealizado satura essa desigualdade como igualdade; não a contradiz. Nenhuma implementação física conhecida — clássica, reversível ou irreversível — produz escrita com custo estritamente menor que o apagamento subsequente sem violar a Primeira Lei, porque isso equivaleria precisamente ao ciclo de moto contínuo descartado na Demonstração.

2.3 AS MESMAS LEIS TERMODINÂMICAS VALEM PARA NEURÔNIOS E COMPUTADORES

A extensão do princípio de Landauer ao cérebro biológico é explicitamente estabelecida por Deli, Peters e Kisvárday (2021) no Computational and Structural Biotechnology Journal: “There is a general expectation that the laws of classical physics must apply to biology, particularly the neural system.” (DELI; PETERS; KISVÁRDAY, 2021, p. 784)

Os autores aplicam o princípio de Landauer a neurônios corticais e generalizam para o cérebro inteiro:

> “The thermodynamic computation of the cortical neuron provides an example [...]. The quasi-hierarchical nature of the brain allows us to generalize his conclusions for the energy-information exchange of stimulus.” (DELI; PETERS; KISVÁRDAY, 2021, p. 786)

A conexão entre trabalho termodinâmico e esforço cognitivo é estabelecida diretamente:

> “The maximum amount of work a thermodynamic process on a constant volume can perform is equal to the negative of the change in the free energy. In the brain, this leads to the cognitive cost of mental effort.” (DELI; PETERS; KISVÁRDAY, 2021, p. 786)

> "The ability to transmit information increases with the frequencies (higher frequencies transmit more information than lower oscillations per unit time)." (DELI; PETERS; KISVÁRDAY, 2021, p. 786)

As leis de trabalho e potência da mecânica clássica, o custo energético de Landauer e a fórmula de informação de Shannon aplicam-se ao cérebro biológico da mesma forma que a circuitos computacionais. Não se trata de analogia, mas da mesma física — e é precisamente por isso que o cérebro, como qualquer sistema físico real, está sujeito ao teto de potência estabelecido na Seção 7.

2.4 O CODING PREDITIVO CEREBRAL COMO CONSEQUÊNCIA DA RESTRIÇÃO ENERGÉTICA

Ali *et al.* (2022), publicado na revista Patterns, fornece forte evidência computacional de que o mecanismo preditivo do cérebro emerge de restrições energéticas. O estudo treinou redes neurais recorrentes para minimizar consumo de energia biológica realista — potenciais de ação e transmissões sinápticas:

> "RNN models, trained to minimize biologically realistic energy consumption (action potentials and synaptic transmissions), spontaneously develop hallmarks of predictive coding without the need to hardwire predictive coding principles into the network architecture." (ALI *et al.*, 2022, p. 8)

> "This opens up the possibility that predictive coding can be understood as a natural consequence of recurrent networks operating under a limited energy budget in predictive environments." (ALI *et al.*, 2022, p. 8)

> "the brain creates an increasingly accurate model of the external world and focuses on processing unexpected sensory events that yield the highest information gain." (ALI *et al.*, 2022, p. 1)

O ponto central deste princípio é justamente o que evita a violação neurofisiológica: o cérebro não minimiza surpresa gastando energia ilimitada — ele opera sob orçamento energético fixo, e é exatamente esse orçamento fixo que faz o coding preditivo emergir como estratégia. Quando um evento exige, para ser assimilado, mais energia do que esse orçamento permite, o mecanismo não se estende além do limite — ele colapsa. A restrição energética não é contornada pelo cérebro diante de um evento improvável; é precisamente ela que torna o colapso do modelo a única saída fisicamente possível.

2.5 O LIMITE FÍSICO DO CÉREBRO HUMANO

Balasubramanian (2021), em artigo publicado na PNAS, estabelece o limite de potência do cérebro humano:

> "the brain manages to produce poetry, design spacecraft, and create art on an energy budget of ~20 W, a paltry sum given that the computer on which this article is being typed requires 80 W." (BALASUBRAMANIAN, 2021, p. 1)

O teto é de aproximadamente 20 joules por segundo para todo o processamento cognitivo de alta função simultaneamente. Este teto é uma restrição neurofisiológica real e nunca é excedido pelo cérebro em funcionamento — não há cenário, no framework aqui proposto, em que o cérebro efetivamente consome mais que esse valor. O que existe, diante de um evento de probabilidade próxima de zero ocorrendo em intervalo de tempo mínimo, é uma divergência entre o que o modelo preditivo exigiria para assimilar o evento e o que esse teto permite. Essa divergência não é resolvida pelo cérebro gastando mais energia — ela é resolvida pelo colapso do próprio modelo, que é a única consequência fisicamente coerente quando a exigência de assimilação excede, mesmo que apenas formalmente, a capacidade real do sistema.

3 A SEGUNDA LEI DA TERMODINÂMICA E A PROBABILIDADE DOS EVENTOS

Os eventos analisados — o sol regredindo, um paralítico recuperando movimentos instantaneamente, e a preservação de organismos em temperatura extrema — não possuem mecanismo físico natural conhecido capaz de produzi-los. É essa ausência de mecanismo que os torna de probabilidade próxima de zero, o que é formalmente capturado pela violação da Segunda Lei da Termodinâmica. Halliday, Resnick e Walker (2016b) enunciam a Segunda Lei no Capítulo 20:

> "De acordo com a segunda lei da termodinâmica [...] se um processo ocorre em um sistema fechado, a entropia do sistema aumenta se o processo for irreversível e permanece a mesma se o processo for reversível. Em forma de equação: $\Delta S \geq 0$. [...] "Todos os processos irreversíveis em um sistema fechado são acompanhados por aumento da entropia. [...] Graças a essa propriedade, a variação de entropia é às vezes chamada de seta do tempo." (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2016b, p. 265)

Processos que revertem espontaneamente entropia acumulada violam $\Delta S \geq 0$. Não existem mecanismos naturais conhecidos capazes de produzi-los. A probabilidade nos processos naturais é portanto próxima de zero, e a informação pelo formalismo de Shannon é praticamente infinita — gerando, pelos princípios anteriores, uma exigência de assimilação que excede infinitamente o orçamento energético do observador.

3.1 FRISTON: O COLAPSO DO MODELO PREDITIVO

Friston (2010) propõe o Princípio da Energia Livre como teoria unificadora do funcionamento cerebral. O cérebro minimiza continuamente a surpresa sensorial: "The free-energy principle says that

any self-organizing system that is at equilibrium with its environment must minimize its free energy." (FRISTON, 2010, p. 1)

A surpresa é definida diretamente em termos de probabilidade — conectando Friston a Shannon: "Entropy is also the average self-information or surprise (more formally, it is the negative log-probability of an outcome)." (FRISTON, 2010, p. 1). Seguindo essa linha, o autor complementa explicando "Free energy is an upper bound on surprise, which means that if agents minimize free energy, they implicitly minimize surprise." (FRISTON, 2010, p. 2), assim podendo ser resumida a ideia que "Minimizing free energy then corresponds to explaining away prediction errors." (FRISTON, 2010, p. 4)

Um evento de probabilidade próxima de zero produz surpresa irredutível. Não há ajuste de parâmetros internos capaz de tornar aquele evento esperado dentro do orçamento energético disponível. É essa impossibilidade formal de ajuste — não uma tentativa real de gasto energético ilimitado — que constitui o erro de predição irredutível. O sistema cognitivo reconhece estar diante de algo fora do seu modelo generativo do mundo natural. O coding preditivo — consequência da restrição energética (Ali *et al.*, 2022; Deli; Peters; Kisvárday, 2021) — colapsa precisamente porque está confinado a esse orçamento, e não porque o transgride.

3.2 TEMPO DE ASSIMILAÇÃO: A DISTINÇÃO DECISIVA

Halliday, Resnick e Walker (2016a) definem potência na Seção 7-6 do Volume 1: "A potência desenvolvida por uma força é a taxa com a qual a força realiza trabalho sobre um objeto." (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2016a, p. 345)

Formalmente: $P = W / \Delta t$, ou na forma instantânea, $P = dW/dt$. O trabalho cognitivo W que seria necessário para assimilar a recuperação de movimentos em um paralítico dentro de um modelo preditivo é elevado em qualquer cenário. O que determina se esse trabalho pode efetivamente ser realizado pelo cérebro — dentro do teto de ~20 W (Balasubramanian, 2021) — não é apenas W, mas a razão $W / \Delta t$: a potência de assimilação que o evento exigiria.

4 ANÁLISE DE CASOS

4.1 NEURALINK — ΔT GRANDE, POTÊNCIA DE ASSIMILAÇÃO DENTRO DO LIMITE

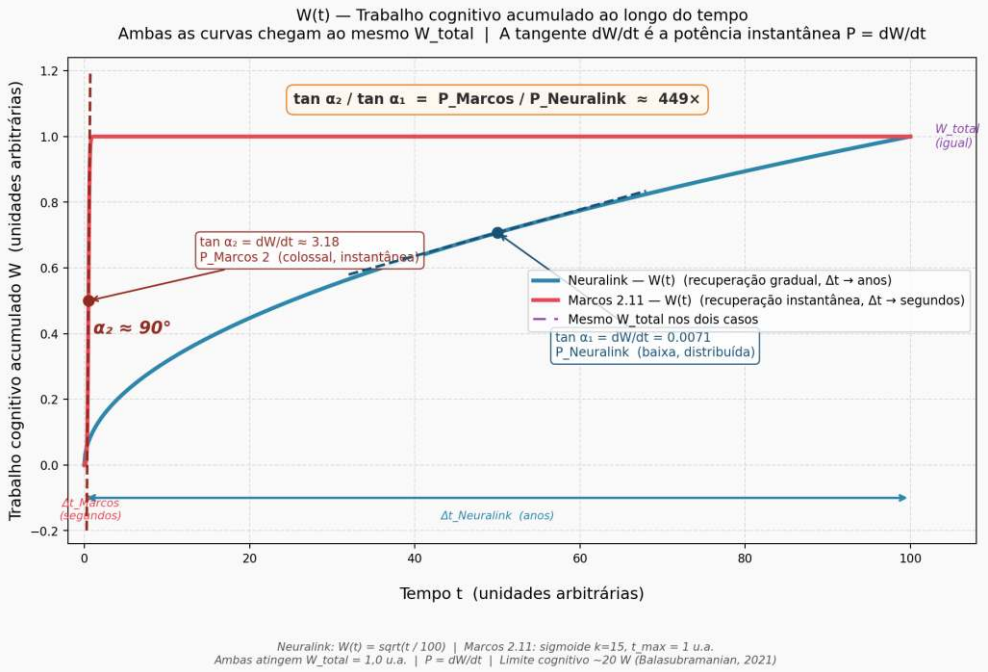
A Neuralink trabalha há anos para restaurar movimento em paralíticos. Os avanços são graduais: cada sessão produz pequenas melhoras distribuídas ao longo de meses ou anos. O mesmo trabalho W é distribuído ao longo de Δt grande: $P = W / \Delta t_grande$, resultando em uma potência de assimilação que permanece dentro dos ~20 W disponíveis (Balasubramanian, 2021). O modelo

preditivo de Jaynes (2003) atualiza gradualmente, dentro do orçamento energético real do cérebro. A surpresa de Friston (2010) é absorvida em parcelas, cada uma compatível com o teto neurofisiológico. O erro de predição é minimizado incrementalmente. Resultado: admiração — mas sem colapso do modelo preditivo, porque em nenhum momento a exigência de assimilação excede o que o cérebro de fato pode realizar.

4.2 MARCOS 2 — ΔT MINÚSCULO, POTÊNCIA DE ASSIMILAÇÃO QUE EXCEDE O LIMITE FORMALMENTE

O paralítico se levanta no tempo de uma frase. O mesmo W — o trabalho que seria necessário para assimilar a reversão de décadas de degeneração — agora tem denominador radicalmente diferente: $P = W / \Delta t_segundos$. Quando Δt tende a zero e W permanece elevado, a potência de assimilação exigida $P = dW/dt$ tende ao infinito. É fundamental precisar o que essa divergência significa: não que o cérebro do observador efetivamente consome ou tenta consumir essa potência — isso seria fisicamente impossível e o cérebro nunca excede seus ~20 W reais —, mas que o modelo preditivo vigente exigiria essa potência para assimilar o evento dentro do intervalo em que ele ocorre. Como essa exigência diverge infinitamente da capacidade real, o modelo não tem como se ajustar: ele colapsa instantaneamente. O modelo preditivo de Jaynes não tem tempo de atualizar. A energia livre de Friston não consegue funcionar como limite superior da surpresa. O erro de predição é irredutível e simultâneo ao evento — e é esse colapso formal, não um gasto energético real, que constitui o fenômeno fisicamente descrito.

Figura 1. W(t): Trabalho cognitivo de assimilação acumulado ao longo do tempo



Representação de W(t) para a Neuralink (azul) e Marcos 2.11 (vermelho) em unidades arbitrárias. Ambas as curvas chegam ao mesmo W_total (segmento pontilhado roxo), demonstrando que o trabalho de assimilação total é equivalente nos dois casos. A distinção está na inclinação da tangente dW/dt: α_1 (Neuralink) é pequeno — potência de assimilação baixa, sempre dentro do teto real; α_2 (Marcos 2) é próximo de 90° — a potência que o modelo exigiria para assimilar o evento diverge muitas ordens de grandeza do teto, o que formalmente corresponde ao colapso do modelo, não a um gasto energético real. Razão entre derivadas ≈ 449×. Neuralink: W(t) = √(t/t_max); Marcos 2.11: sigmóide k=15, t_max = 1 u.a.

Fonte: autoria própria

Tabela 1. Distinção formal entre recuperação gradual e instantânea

Variável	**Neuralink**	**Marcos 2.11**
Trabalho de assimilação W	Alto	Alto
Intervalo de tempo Δt	Anos	Segundos
Potência de assimilação P = W/Δt	Baixa — dentro dos ~20 W reais	Diverge formalmente do teto de ~20 W
Modelo preditivo (Jaynes)	Atualiza gradualmente	Não tem como se ajustar no intervalo
Erro de predição (Friston)	Minimizável ao longo do tempo	Irredutível — colapso instantâneo do modelo
Resultado cognitivo	Admiração	Colapso do modelo preditivo

Fonte: autoria própria

Esta é a distinção física entre um avanço tecnológico notável e um evento percebido como miraculoso: não apenas o que acontece, mas a relação entre a potência que o modelo exigiria para assimilar o evento e o teto real de ~20 W do cérebro humano (Balasubramanian, 2021). No primeiro caso a exigência permanece dentro do teto; no segundo, diverge dele — e é essa divergência formal, nunca um gasto energético efetivo, que determina o colapso do modelo.

4.3 REI EZEQUIAS

11.1 2 Reis 20 — O Sol de Ezequias

O rei Ezequias, diante do sinal oferecido pelo profeta Isaías, exige o evento de menor probabilidade possível: “É fácil para a sombra avançar dez graus; não, mas que a sombra retroceda dez graus.” (2 Reis 20.10, ARC)

Ezequias aplica intuitivamente o princípio de Shannon antes de Shannon: pede o evento de menor probabilidade — a reversão de um processo astronômico espontâneo. A regressão do sol no relógio de Acaz viola $\Delta S \geq 0$ (Halliday; Resnick; Walker, 2016b). Sua probabilidade nos processos naturais é próxima de zero.

O sol regrediu (2 Reis 20.11).

A informação do evento — $I = -\log_2(p)$ com $p \to 0$ — é praticamente infinita (Shannon, 1948). O trabalho que seria necessário para assimilar essa informação, no intervalo em que o sinal ocorreu, exigiria do modelo preditivo de Ezequias uma potência que diverge dos ~20 W reais disponíveis (Balasubramanian, 2021). Não é que o cérebro de Ezequias tenha gastado essa potência — é que o modelo não teve como assimilar o evento dentro desse teto, e por isso colapsou: erro de predição irredutível (Friston, 2010). O observador que crê na realidade do evento experimenta esse colapso do modelo preditivo como resposta cognitiva necessária a uma exigência de assimilação fisicamente irrealizável.

4.4 MARCOS 2 — O PARALÍTICO

Jesus olha para o paralítico e diz: “Levanta-te, toma o teu leito e anda.” (Marcos 2.11, ARC)

Décadas de degeneração neurológica revertidas no tempo de uma frase. Nenhum mecanismo físico natural produz esse resultado nesse intervalo de tempo. A probabilidade é próxima de zero — formalmente capturada pela violação de $\Delta S \geq 0$ (Halliday; Resnick; Walker, 2016b). A informação é próxima do infinito (Shannon, 1948, p. 11). Com Δt de segundos, a potência que o modelo preditivo exigiria para assimilar essa informação — $P = W/\Delta t$ — diverge muitas ordens de grandeza dos ~20 W reais disponíveis (Balasubramanian, 2021; Halliday; Resnick; Walker, 2016a). O cérebro do observador não excede seu teto real em nenhum momento; o que ocorre é que o modelo preditivo não tem tempo de se ajustar (Jaynes, 2003) e colapsa de forma irredutível e instantânea (Friston, 2010; Ali *et al.*, 2022; Deli; Peters; Kisvárday, 2021).

Resultado: colapso do modelo preditivo como resposta cognitiva ao limite físico real da capacidade de assimilação. O impacto da experiência religiosa, para o observador que crê na realidade

do evento, é fisicamente necessário — não arbitrário, e não decorrente de um gasto energético que violaria a neurofisiologia.

4.5 DANIEL 3 — A FORNALHA DE NABUCODONOSOR

O terceiro estudo de caso introduz um domínio físico distinto dos anteriores: não mecânica celeste como em 2 Reis 20, nem biologia como em Marcos 2, mas termodinâmica pura — e com uma camada adicional que os outros casos não possuem.

O relato é direto: "Então o rei Nabucodonosor se assombrou e levantou-se logo com pressa." (Daniel 3.24, ARC)

O rei levantou correndo. Isso não é detalhe literário — é a resposta cognitiva de um sistema que operava por raciocínio plausível (Jaynes, 2003) e teve seu modelo preditivo completamente destruído em tempo real. O modelo de Nabucodonosor era robusto: mandou aquecer a fornalha sete vezes além do normal para eliminar qualquer margem de sobrevivência. Seu raciocínio plausível era: fogo leva à destruição de sistemas biológicos organizados. Esse modelo é fisicamente correto, e Schrödinger (1944) explica por quê.

No Capítulo 6 de What Is Life?, Schrödinger estabelece que a vida se mantém apenas enquanto consegue extrair entropia negativa do ambiente:

> Every process, event, happening — in a word, everything that is going on in Nature means an increase of the entropy of the part of the world where it is going on. Thus a living organism continually increases its entropy [...] and thus tends to approach the dangerous state of maximum entropy, which is death. It can only keep aloof from it, i.e. alive, by continually drawing from its environment negative entropy. What an organism feeds upon is negative entropy." (SCHRÖDINGER, 1944, p. 25)
>
> The device by which an organism maintains itself stationary at a fairly high level of orderliness really consists in continually sucking orderliness from its environment." (SCHRÖDINGER, 1944, p. 26)

Uma fornalha aquecida sete vezes além do normal é o inverso exato do ambiente que um organismo precisa. A taxa de dissipação de calor $P = Q/\Delta t$ cresce proporcionalmente à temperatura. Pela Primeira Lei (Halliday; Resnick; Walker, 2016b, Cap. 18): $\Delta E_{int} = Q - W$ — toda a energia térmica transferida aumenta a energia interna irreversivelmente, acelerando a degradação da organização molecular. A Segunda Lei confirma: $\Delta S \geq 0$. O próprio texto confirma a física: os homens que lançaram os jovens na fornalha morreram. A taxa de transferência térmica do ambiente excedeu a capacidade real de compensação biológica desses homens — exatamente como Schrödinger prediz, e sem qualquer violação de limites físicos: a morte por exposição térmica extrema é, ela mesma, o

resultado esperado quando a taxa de dissipação de calor do ambiente excede o que um organismo pode efetivamente processar.

O modelo de Nabucodonosor colapsou em três camadas simultâneas. Primeira: os três jovens não morreram — a organização biológica se manteve em ambiente de entropia máxima crescente, o que o modelo de Schrödinger (1944) descreve como condição necessária para a vida não foi cumprido, e ainda assim a vida persistiu. Segunda: suas vestimentas não foram queimadas (Daniel 3.27) — a combustão é processo irreversível espontâneo, $\Delta S > 0$ (Halliday; Resnick; Walker, 2016b). Terceira e mais importante: um quarto ser apareceu dentro da fornalha (Daniel 3.25) — em ambiente de entropia máxima crescente, um novo sistema organizado emergiu espontaneamente, criação de ordem nova onde a Segunda Lei torna isso impossível nos processos naturais.

Nabucodonosor não sabia o que era entropia. Mas tinha um modelo preditivo robusto — raciocínio plausível de Jaynes (2003) em sua forma mais elementar: fogo destrói organismos. Quando esse modelo falhou em três camadas simultâneas em tempo real, o impacto cognitivo foi o mesmo que o framework prediz: erro de predição irredutível (Friston, 2010), uma exigência de assimilação que diverge formalmente do teto real de ~20 W em Δt mínimo (Halliday; Resnick; Walker, 2016a; Balasubramanian, 2021) — não um gasto energético real do cérebro de Nabucodonosor, mas a impossibilidade de seu modelo se ajustar ao evento dentro desse teto. A resposta física foi: ele se levantou correndo.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho demonstrou que o impacto cognitivo de eventos religiosos percebidos como miraculosos tem explicação física formal, articulada em cadeia lógica de oito princípios independentes. O argumento não prova a origem sobrenatural dos eventos — essa afirmação está fora do escopo da física. O que o argumento demonstra é que, dado que o observador percebe o evento como real e ocorrido conforme narrado, o impacto cognitivo é fisicamente necessário e matematicamente mensurável.

É essencial reafirmar, na conclusão, a distinção que estrutura todo o argumento: em nenhum momento o framework propõe que o cérebro humano gasta ou tenta gastar potência colossal ou infinita — isso violaria a restrição neurofisiológica de ~20 W estabelecida por Balasubramanian (2021) e seria, portanto, fisicamente incoerente com a própria premissa adotada. O que o argumento propõe é que o evento, para ser assimilado pelo modelo preditivo vigente dentro do intervalo de tempo em que ocorre, exigiria uma potência que diverge formalmente desse teto — e essa divergência, não um gasto energético real, é o que produz o colapso imediato do modelo. O cérebro permanece, durante todo o

processo, dentro de seus limites físicos reais; é o modelo preditivo, não o orçamento energético do cérebro, que colapsa.

A contribuição original do trabalho é a introdução da variável Δt como fator formal de distinção entre recuperação tecnológica gradual e recuperação instantânea. A relação P = W/Δt permite diferenciar formalmente o impacto cognitivo da Neuralink do impacto cognitivo de Marcos 2.11: não é o que acontece que distingue os dois casos, mas a taxa com que a exigência de assimilação se relaciona com o teto energético real do cérebro humano.

O impacto cognitivo de experiências religiosas percebidas como miraculosas não é resposta arbitrária ou meramente emocional. É a resposta cognitiva necessária de um sistema que opera por raciocínio plausível (Jaynes, 2003) diante de um evento cuja informação (Shannon, 1948) exigiria, para ser assimilada, um trabalho (Landauer, 1961; Deli; Peters; Kisvárday, 2021) cuja potência associada diverge formalmente do teto real disponível (Balasubramanian, 2021) no intervalo de tempo do evento — produzindo surpresa irredutível (Friston, 2010) que o modelo preditivo, emergente da própria restrição energética (Ali *et al.*, 2022), não consegue minimizar, e por isso colapsa.

REFERÊNCIAS

ALI, A., N. AHMAD, E. DE GROOT, M. A. J. VAN GERVEN, and T. C. KIETZMANN. 2022. "PREDICTIVE CODING IS A CONSEQUENCE OF ENERGY EFFICIENCY IN RECURRENT NEURAL NETWORKS." PATTERNS, 3. HTTPS://DOI.ORG/10.1016/J.PATTER.2022.100XXX

BALASUBRAMANIAN, V. 2021. "BRAIN POWER." PNAS, 118(32): E2107022118. HTTPS://DOI.ORG/10.1073/PNAS.2107022118

BÍBLIA SAGRADA. 2009. ALMEIDA REVISTA E CORRIGIDA. SÃO PAULO: SOCIEDADE BÍBLICA DO BRASIL.

DELI, E., J. PETERS, and Z. KISVÁRDAY. 2021. "THE THERMODYNAMICS OF COGNITION: A MATHEMATICAL TREATMENT." COMPUTATIONAL AND STRUCTURAL BIOTECHNOLOGY JOURNAL, 19: 784–95. HTTPS://DOI.ORG/10.1016/J.CSBJ.2021.01.008

FRISTON, K. 2010. "THE FREE-ENERGY PRINCIPLE: A UNIFIED BRAIN THEORY?" NATURE REVIEWS NEUROSCIENCE, 11: 127–38. HTTPS://DOI.ORG/10.1038/NRN2787

HALLIDAY, D., R. RESNICK, and J. WALKER. 2016a. FUNDAMENTALS OF PHYSICS. Vol. 1, MECHANICS. 10th ed. TRANSLATED BY RONALDO SÉRGIO DE BIASI. RIO DE JANEIRO: LTC.

HALLIDAY, D., R. RESNICK, and J. WALKER. 2016b. FUNDAMENTALS OF PHYSICS. Vol. 2, GRAVITATION, WAVES, AND THERMODYNAMICS. 10th ed. TRANSLATED BY RONALDO SÉRGIO DE BIASI. RIO DE JANEIRO: LTC.

JAYNES, E. T. 2003. PROBABILITY THEORY: THE LOGIC OF SCIENCE. EDITED BY G. LARRY BRETTHORST. CAMBRIDGE: CAMBRIDGE UNIVERSITY PRESS.

LANDAUER, R. 1961. "IRREVERSIBILITY AND HEAT GENERATION IN THE COMPUTING PROCESS." IBM JOURNAL OF RESEARCH AND DEVELOPMENT, 5(3): 261–69. HTTPS://DOI.ORG/10.1147/RD.53.0183

SCHRÖDINGER, E. 1944. WHAT IS LIFE? CAMBRIDGE: CAMBRIDGE UNIVERSITY PRESS.

SHANNON, C. E. 1948. "A MATHEMATICAL THEORY OF COMMUNICATION." BELL SYSTEM TECHNICAL JOURNAL, 27: 379–423. HTTPS://DOI.ORG/10.1002/J.1538-7305.1948.TB01338.X.