

A Ponte Hiperbólica X — A Entropia do Laço

Resposta à pergunta do autor: quanta entropia um ciclo completo ao redor do laço produz?

Série Φ -LIBER · Escrito de pesquisa nº 10 (aplicação de O2 — primeiro trabalho do formato Hermes-Eledonte) · 27/07/2026

Marcus V. Brancaglione · Exploração e verificação: Kimi (Moonshot AI)

Licença: © Todos os Direitos Reservados + (À)Paz — Marcus V. Brancaglione

Método: identidade termodinâmica + simulação com sementes fixas (philiber/laco.py, 5 testes). Suíte total: **128 verdes**.

Formato: Doc v26 nº 003 em operação — cada afirmação etiquetada [L]/[I↓]/[I→]/[H]; becos registrados; Ratio L/E declarado no rodapé.

1. A pergunta [do autor]

"...as flutuações obedecem à mesma geometria que a dissipação? A relação de flutuação-dissipação (FDT) é essa ponte — e a pergunta do oco: quanta entropia um ciclo completo ao redor do laço produz?" — registrada em 22/07/2026, quando T7 respondeu a metade FDT. Este escrito responde a metade do oco.

2. A identidade — T15

[L] Para a dinâmica superamortecida A6 sob protocolo cíclico de campo, a entropia produzida por ciclo é exatamente

$$\sigma_{\text{ciclo}} = W_{\text{diss}}/T = (1/T) \cdot \oint (\Phi) dJ$$

Prova: balanço de energia no ciclo fechado (a energia interna retorna) + identidade de Sekimoto para o calor injetado no banho na dinâmica de Langevin superamortecida. □ (Âncora: Sekimoto 1998.)

[I↓] No espaço de caminhos, $\sigma = D_{KL}(P_{\text{frente}} \parallel P_{\text{ré}})$ — a entropia do laço é o quanto o ciclo é distinguível do seu próprio reverso temporal (Seifert 2005). Consequência direta de [L] via teorema da flutuação. Esta é a resposta conceitual: **a entropia do oco é o preço de o ciclo ter uma seta** — de ser óbvio dizer em que sentido o tempo correu.

[L] Produção $\neq$ armazenamento: no ciclo fechado o estado retorna ($\Delta S_{\text{sistema}} = 0$); toda a σ é exportada ao banho. O laço não guarda entropia — ele a fabrica e a despeja, a cada volta.

3. A medida — P10

[I→] Protocolo: J linear em $\pm 1,5 \cdot J_{\text{sp}}$, perna de 150 u.t., $dt = 10^{-3}$, 2.000 caminhantes, semente 7, $m^2 = e$, $b = 1$ (A2), $\Phi_{\text{vac}} = 1,6487$, $J_{\text{sp}} = 1,7250$ (T6).

T	W_{diss}	$\sigma = W_{\text{diss}}/T$
0,1	9,98	99,8 nats
0,2	8,05	40,3
0,3	6,36	21,2
0,5	3,56	7,1
0,8	1,48	1,9

[I→] $\sigma(T)$ é monotonicamente decrescente — **R1 reconfirmado** com protocolo novo (tolerância: varredura discreta; W_{diss} depende da taxa de varredura, declarado). **[I↓]** Dois limites limpos: $T \rightarrow 0$, o ferrolho é perfeito e σ **diverge** — a memória sem ruído custa infinita entropia por kelvin (é o preço do latch, não um defeito); $T \rightarrow \infty$, o laço desaparece e $\sigma \rightarrow 0$ — sem histerese não há seta, e nada há a distinguir.

4. O trânsito — P11

[I→] A entropia de seleção S_{sel} (entropia binária da fração de caminhantes no poço +, instrumento de T8) atinge o pico **0,6931 = $\ln 2$** — a 4 casas — em *todas* as temperaturas da tabela: em cada cascata, o coletivo passa exatamente pelo ponto de máxima ignorância, **duas vezes por ciclo**. **[I↓]** O laço *produz* σ (que diverge no frio) e *transita* $\ln 2$ (que não depende de T): os dois números vivem em registros diferentes — um é fabricação, o outro é passagem. A resposta à pergunta do autor é os dois: **um ciclo produz $\sigma(T) = W_{\text{diss}}/T$ nats e, no caminho, visita duas vezes o ponto de ignorância máxima.**

5. Beco registrado (não apagado)

[E!] O primeiro estimador proposto nesta sessão — D_{KL} entre as distribuições dos pontos de virada das duas pernas — é **degenerado por simetria**: no poço duplo simétrico, $p_{\text{desce}}(J^*) \equiv -p_{\text{sobe}}(-J^*)$ no estado cíclico; a medida daria ≈ 0 contra $\sigma \approx 21$ nats, e a "verificação" seria falsa. A assimetria da seta do tempo mora nas **caudas de relaxamento do caminho inteiro**, não no ponto de virada. Detecção: o lint (camada 2, $\otimes$) — antes de publicar. A medida completa do D_{KL} no espaço de trajetórias fica **aberta** (requer estimador de espaço de caminhos; candidata a trabalho futuro com o agente).

6. Não-afirmações

1. **[H]** A leitura "o oco cobra pedágio pela seta" é interpretação da identidade de Seifert — física estocástica estabelecida aplicada ao modelo; não é afirmação sobre o universo observável.
2. W_{diss} depende do protocolo (taxa de varredura); os valores são do protocolo declarado, não universais — a *lei* (σ decrescente, limites limpos) é o conteúdo, não os números absolutos.
3. A aproximação de barreira aguda não é invocada em nenhum passo deste escrito.
4. α não aparece neste escrito: o laço vive no espaço (J, Φ) — a geometria hiperbólica entra se e quando o laço for lido no espaço de composição (ficou para O2-profundo; **[H]** marcada).

7. O que se abre

- **O2 (aplicação): respondida** — a pergunta do laço tem resposta em três registros (T15, P10, P11).
- **Aberta (nova, registrada)**: a medida do D_{KL} no espaço de trajetórias (estimador a desenhar — o beco do §5 ensinou onde *não* olhar).
- **Nota editorial (17/08/2026)**: o Estimador A do rascunho de 27/07 (D_{KL} como esperança no espaço de trajetórias) é, em ancoragem bibliográfica, a **lei do estatístico inconsciente (LOTUS)** sobre a medida de caminhos — a mesma operação da prova de T13 (nº 9). Sem efeito sobre os números; efeito sobre a conversa com o revisor.
- **O5 inalterada**; a pista do cilindro segue madura.

Referências (acréscimos)

47. Sekimoto, K. (1998). *Langevin equation and thermodynamics*. Prog. Theor. Phys. Suppl. 130, 17 (identidade do calor — T15).
48. Seifert, U. (2005). *Entropy production along a stochastic trajectory and an integral fluctuation theorem*. Phys. Rev. Lett. 95, 040602 ($\sigma = D_{\text{KL}} - T15, [I\downarrow]$).

Ratio L/E deste escrito: 3 [L] + 2 [I↓] + 3 [I→] + 1 [H] + 1 [E!] — Ratio L/E = 0,30 (5 de 10 afirmações de nível [L]/[I↓]... declaração honesta: 5/10; as medidas carregam tolerância declarada; o beco [E!] conta no denominador por transparência).

Reprodutibilidade: philiber/laco.py + tests/test_laco.py (5 testes; suíte total: **128 verdes** — philiber v2.4.0). *Protocolo e sementes na seção 3; os testes re-rodados produzem: σ decrescente (R1), pico $S_{\text{sel}} = \ln 2$ a $< 2\%$, determinismo de semente.*