

# O Modo Internet de Interconectividade

## Um Fundamento para o Sucesso

### Sumário

Resumo Executivo	1
Propriedade Crítica 1: Uma Infraestrutura Acessível com um Protocolo Comum	3
Propriedade Crítica 2: Uma Arquitetura Aberta de Blocos Estruturais Interoperáveis e Reutilizáveis	4
Propriedade Crítica 3: Gerenciamento Descentralizado e um Sistema de Roteamento Distribuído Comum	6
Propriedade Crítica 4: Identificadores Globais Comuns	7
Propriedade Crítica 5: Uma Rede de Propósito Geral	9

## RESUMO EXECUTIVO

*Para assegurar o valor da Internet para nosso futuro, precisamos reconhecer e proteger aquilo que a torna única.*

O que torna a Internet 'a Internet'? Outras redes de computadores existiam antes da Internet, mas nenhuma delas foi adotada em uma escala global e integrou-se na vida cotidiana de tantas pessoas. O que faz da Internet uma 'rede de redes' que evoluiu para uma ferramenta global essencial e um espaço totalmente novo para inovação, crescimento e transformação?

A Internet deve seu sucesso não apenas à tecnologia, mas à forma como ela opera e evolui. A Internet oferece oportunidades sem precedentes para o avanço do entendimento social e cultural. O ambiente online empodera os indivíduos a se conectar, falar, inovar, compartilhar, aprender e se organizar. Existem praticamente infinitas oportunidades nas quais podemos usar a Internet como uma força para o bem. Para garantir que possamos continuar usando-a desta forma, precisamos reconhecer e proteger suas propriedades críticas.

A Internet Society identificou as propriedades críticas que definem o Modo Internet de Interconectividade (“Internet Way of Networking”) e sustentam o crescimento e a capacidade de adaptação da Internet. Os benefícios dessas propriedades possibilitaram o desenvolvimento econômico e tecnológico que a Internet trouxe ao redor do mundo.

Tecnologias e modelos de negócios específicos podem ir e vir, mas o Modo Internet de Interconectividade tem sido um fundamento perene para o sucesso da Internet desde o início. Para que a Internet do futuro seja tão inovadora e sustentável quanto tem sido até agora, as propriedades críticas precisam guiar sua evolução.

Usar o Modo Internet de Interconectividade como uma lente através da qual vemos o desenvolvimento da tecnologia e de políticas públicas nos ajudará a garantir que a Internet de amanhã seja aberta e vibrante para todas as pessoas. Embora as propriedades críticas sejam pilares fundamentais do Modo Internet de Interconectividade, elas se manifestam através dos benefícios que proporcionam a qualquer pessoa que utilize, construa, desenvolva e opere vários componentes do ecossistema da Internet.

<b>Propriedade Crítica</b>	<b>Benefícios</b>
<b>Uma Infraestrutura Acessível com um Protocolo Comum</b> que é aberta e tem poucas barreiras de entrada	Acesso irrestrito e protocolos comuns proporcionam conectividade global e incentivam o crescimento da rede. À medida que mais e mais participantes se conectam, o valor da Internet aumenta para todos.

<p><b>Arquitetura Aberta de Blocos Estruturais Interoperáveis e Reutilizáveis</b> baseada em processos de desenvolvimento de padrões abertos adotados voluntariamente por uma comunidade de usuários</p>	<p>A arquitetura aberta cria serviços interoperáveis comuns, que oferecem em todos os lugares inovação rápida e sem necessidade de que se peça permissão a ninguém. O processo de padronização inclusivo e a adoção orientada pela demanda garantem que mudanças úteis sejam adotadas, enquanto as desnecessárias desaparecem.</p>
<p><b>Gerenciamento Descentralizado e um Sistema de Roteamento Distribuído Único</b> que é escalável e ágil</p>	<p>O roteamento distribuído proporciona uma rede resiliente e adaptável de redes autônomas, permitindo otimizações locais sem afetar a conectividade global.</p>
<p><b>Identificadores Globais Comuns</b> não ambíguos e universais</p>	<p>Um conjunto comum de identificadores proporciona endereçabilidade consistente e visão coerente de toda a rede, sem fragmentação ou fraturas.</p>
<p><b>Uma Rede de Propósito Geral</b> que é simples e adaptável</p>	<p>Generalidade proporciona flexibilidade. A Internet atende continuamente uma comunidade diversificada e em constante evolução de usuários e aplicações. Ela não requer mudanças significativas para dar suporte a este ambiente dinâmico.</p>

## Propriedade Crítica 1: Uma Infraestrutura Acessível com um Protocolo Comum

Você não precisa de permissão para conectar-se à Internet. Você encontra um ponto próximo, toma providências para se conectar, e você está na Internet. A rede é ampliada pelos muitos tipos diferentes de organizações que se conectam a ela. Não existe uma política internacional sobre quem pode se conectar ou o que eles devem pagar; estes fatores são em grande parte dirigidos pelo mercado, não por uma autoridade centralizada. Nós individuais conectam-se à Internet usando diferentes conexões físicas (por exemplo, LAN sem fio, Ethernet, DSL) e usando uma variedade de tecnologias de rede subjacentes. Entretanto, cada conexão de hardware se apresenta, finalmente, como uma interface de troca por pacotes e cada nó implementa um protocolo de camada de rede disponível que é comum e aberto: o Internet Protocol ("Protocolo IP").

Esta infraestrutura aberta e acessível oferece vários benefícios fundamentais: o primeiro é a conectividade global, reunindo participantes de todo o mundo e permitindo que alcancem uns aos outros. O segundo é o crescimento: a rede continua a crescer porque os participantes encontram valor em conectar-se, o que continua a criar ainda mais valor para todos que estão conectados. Um usuário da Internet tentando usar uma nova aplicação não precisa fazer perguntas como "Eles estão executando o mesmo protocolo que eu?" ou "Posso chegar até sua parte da Internet a partir da minha?". Na verdade, a maioria dos usuários da Internet pode nem mesmo saber fazer estas perguntas, porque

o modelo aberto da Internet significa que eles não têm que pensar em tais coisas. A rede está aberta a qualquer um disposto a participar, como consumidor, como provedor de informações, como construtor de infraestrutura ou como acadêmico que queira estudar como tudo isso se encaixa<sup>1</sup>. Sem uma autoridade central ditando quem, como e onde as conexões são feitas, a rede pode crescer organicamente para apoiar as necessidades de seus usuários<sup>2</sup>. Uma vez que a rede tenha superado a tarefa básica de conectar-se à Internet, eles fazem parte de toda a Internet global.

Uma Internet acessível, para que cresça, segue uma abordagem baseada no mercado, o que tem o efeito de privar aqueles sem meios para custear conectividade e serviços. Se você não tem dinheiro para pagar por isso, pode não haver razão comercial para alguém estender a conexão à Internet até sua casa ou empresa. A Internet é aberta, mas isso não significa que todas e todos terão acesso em um mercado orgânico. Em áreas onde os usuários da Internet têm poucas opções de provedores de serviços e conexões, os benefícios desta propriedade crítica podem ser diminuídos: o usuário da Internet pode ver uma Internet menos acessível.

Quando falta a propriedade de um protocolo comum, os usuários não são capazes de experimentar o valor completo da Internet. Por exemplo, a Internet está passando por uma transição do IPv4 para o IPv6. Durante esse período de transição, alguns usuários podem estar "na Internet", mas não conseguem se conectar a algumas aplicações porque uma delas está em IPv4 e a outra em IPv6. O perigo de perder a conectividade e, portanto, de fragmentar a Internet é uma das razões pelas quais a transição está levando tanto tempo e tem sido tão cara: ninguém quer violar esta propriedade crítica e se isolar do resto da rede.

## Propriedade Crítica 2: Uma Arquitetura Aberta de Blocos Estruturais Interoperáveis e Reutilizáveis

A Internet provê serviços bem definidos e inteligíveis para aplicações utilizando uma arquitetura aberta simples. Os blocos estruturais da tecnologia são montados em um modelo de camadas, trabalhando em conjunto para prover serviços a aplicações e usuários finais. Cada bloco estrutural oferece uma função específica, como oferecer

---

<sup>1</sup> Naturalmente, as condições locais também devem criar uma infraestrutura básica para reunir usuários e tecnologia para se conectar, o que pode ser um desafio em alguns ambientes. Entretanto, o valor da Internet é suficientemente alto para criar uma atração de demanda que pode levar a mudanças na infraestrutura local que ajudem a conectar mais usuários. O modelo aberto e acessível funciona em todo o mundo.

<sup>2</sup> Embora não haja necessidade de um guardião, a política nacional ocasionalmente intervém para diminuir a acessibilidade da Internet. O resultado, quase universalmente, é que os usuários finais trabalham para contornar essas políticas para se conectar e usar os serviços da Internet. Isto, por si só, é uma forte evidência do valor de uma rede acessível e aberta.

suporte a diferentes tipos de rede, garantir transporte confiável, propiciar segurança, ou fornecer resolução de nomes<sup>3</sup>. Qualquer pessoa pode acrescentar inovação em qualquer ponto<sup>4</sup> - e os usuários da Internet podem adotar (ou rejeitar) aqueles blocos estruturais que trazem valor sem necessidade de reconstruir toda a rede. Facilidade na construção e na instalação de novos serviços a partir desses blocos estruturais acelera a inovação e o desenvolvimento. Quando blocos estruturais para novos serviços comuns são fáceis de construir e instalar, isto acelera a implantação e a inovação.

Esta arquitetura aberta oferece um benefício fundamental: os serviços interoperáveis comuns e os blocos estruturais reutilizáveis permitem em toda parte inovação rápida e sem "necessidade de permissão". Um desenvolvedor de aplicações não precisa focar em outras camadas e se perguntar sobre a arquitetura e a tecnologia da rede subjacente. Em vez disso, a arquitetura da Internet oferece um menu bem conhecido de escolhas que permitem uma rápida implantação e inovação. Mesmo incertezas do tipo "a rede subjacente é IPv4 ou IPv6?" são minimizadas pela perspectiva do desenvolvedor da aplicação, pois os blocos estruturais responsáveis pelas funções de transporte escondem essas diferenças<sup>5</sup>.

A estrutura em blocos da Internet tende a empurrar a inovação para cima, à medida que os desenvolvedores trabalham a partir do que já existe, fornecendo serviços melhores e mais criativos - sem exigir mudanças na tecnologia subjacente.

O processo de padronização está aberto a todas as partes interessadas e informadas, e os resultados deste processo são implantados de forma voluntária. As mudanças são adotadas quando servem a um propósito, enquanto as desnecessárias morrem. Mesmo quando alguns dos blocos estruturais são proprietários (a API do Google Maps, por exemplo), suas definições são suficientemente abertas para permitir desenvolvimento e implantação descentralizados, evitando a ossificação.

A importância destes blocos estruturais abertos e interoperáveis pode ser vista quando encontramos partes da rede fechadas. Por exemplo, os firewalls da Internet operam em um nível onde "gerenciam" a camada de transporte TCP e conexões UDP entre nós

---

<sup>3</sup> Exemplos de blocos estruturais incluem protocolos para redes sem fio IEEE 802.11 ou TCP garantindo o transporte confiável de dados entre dois sistemas finais.

<sup>4</sup> Para ter uma chance de ser adotada, a inovação tem que atender certos requisitos, tais como interoperar com outros blocos estruturais relevantes. A padronização pode ser essencial para a adoção, especialmente para os blocos básicos fundacionais.

<sup>5</sup> Um influente artigo de 1984, "End-to-End Arguments in System Design", de Saltzer, et al., ofereceu um argumento detalhado de por que a Internet deve manter esta arquitetura em camadas e empurrar serviços para as bordas da rede, tais como protocolos da camada de transporte orientados para conexão e sem conexão, e influenciou os primeiros projetistas da Internet a aderir rigidamente a este modelo. [J. H. Saltzer et al., End-to-End Arguments in Systems Design, ACM Transactions on Computer Systems, Vol 2, No. 4, novembro de 1984, páginas 277-288. <https://doi.org/10.1145/357401.357402>

finais<sup>6</sup>. Estes dispositivos têm uma visão muito mais estática da Internet. Isto significa que, mesmo que dois sistemas terminais concordem em executar um novo protocolo de transporte, pode ser difícil implantar esse protocolo através da Internet, porque muitos firewalls da Internet não teriam a capacidade de controlá-lo e, portanto, o bloqueariam.

A rápida inovação na Internet é sustentada pela habilidade que um desenvolvedor de aplicações tem de aproveitar serviços bem definidos em camadas. Isto é um grande benefício tanto para a aplicação quanto para seus usuários. Por exemplo, o conhecido protocolo TLS fornece um serviço de segurança definido para qualquer aplicação, eliminando a necessidade de inventar este mecanismo a partir do zero. A experiência tem mostrado que tentar reinventar a segurança em vez de usar blocos padronizados, como o TLS, muitas vezes resulta em comprometimentos e violações de segurança. Embora a Internet não esteja livre de violações, a capacidade que os projetistas de segurança têm de reutilizar blocos estruturais como o TLS proporciona maior segurança a custos mais baixos.

### Propriedade Crítica 3: Gerenciamento Descentralizado e um Sistema de Roteamento Único

Como uma rede de redes, a infraestrutura da Internet se baseia em quase 70.000<sup>7</sup> redes independentes que optam por colaborar e se conectar entre si. Cada uma dessas redes opera um protocolo comum e aberto (Border Gateway Protocol, BGP), que permite trocar informações de roteamento com seus vizinhos. E cada uma dessas redes toma decisões independentes sobre como rotear o tráfego para seus vizinhos, com base em suas próprias necessidades e requisitos locais. Não há uma direção central, ou um controlador que dite como e onde as conexões são feitas, de modo que a rede cresce organicamente, dirigida por interesses locais.

O sistema de roteamento distribuído oferece vários benefícios chave: alcance global, resiliência e conectividade otimizada. Cada organização que entra na Internet seleciona como se conectar e como rotear seus dados com base em requisitos locais. Elas são

---

<sup>6</sup> Os firewalls e dispositivos similares, como balanceadores de carga, tradutores de endereços e scanners de segurança, são frequentemente chamados "caixas intermediárias", porque elas se situam "no meio" entre dois nós terminais, mudando o modelo em camadas de tal forma que os dois nós terminais não estão realmente se comunicando diretamente sobre uma camada de rede subjacente. As caixas intermediárias bem projetadas minimizam a interrupção do modelo em camadas da Internet, ajudando a preservar as comunicações de ponta a ponta. Na medida em que as caixas intermediárias interrompem o modelo em camadas, esta propriedade crítica é comprometida. Por esta razão, as caixas intermediárias são uma das tecnologias que os engenheiros da Internet adoram odiar.

<sup>7</sup> Estes são "Sistemas Autônomos", cada um dos quais representa uma entidade administrativa separada e pode ter centenas de redes internas. Na terça-feira, 23 de junho de 2020, existiam 68.577 Sistemas Autônomos anunciando rotas para a Internet global.

capazes de otimizar como sua conexão à Internet funciona de modo a atender suas necessidades: preço, serviços disponíveis, largura de banda de conexão, confiabilidade ou qualidade, e assim por diante. Nenhuma coordenação central é necessária porque todos os acordos e decisões políticas são feitos entre a organização que está se conectando e as organizações vizinhas; você não precisa solicitar permissão para entrar na Internet a qualquer autoridade central<sup>8</sup>. A capacidade de tomar decisões independentes numa base regional, local ou hiper-local permite que a Internet seja mais ágil, escalável e adaptável às necessidades de seus usuários.

A falta de uma autoridade central de roteamento dentro da Internet, no entanto, traz também desvantagens. Sem a aplicação de uma política comum, tanto o erro humano quanto ações maliciosas deliberadas podem resultar em interrupções na conectividade e em problemas de segurança, tais como espionar o tráfego na Internet ou forjar a identidade de uma organização. Ao adotar uma abordagem colaborativa no roteamento, a Internet se baseia na pressão dos pares e na ação da comunidade para resolver problemas - e a resolução geralmente ocorre muito rapidamente uma vez que a comunidade tenha identificado o problema<sup>9</sup>.

Na ausência de um sistema comum de roteamento distribuído, a Internet perderia tanto agilidade quanto escalabilidade. As decisões e requisitos locais seriam impossíveis de serem atendidas sem atualizar o controlador central. Obrigar um roteamento centralizado - ou mesmo um roteamento regional - elimina a capacidade dos usuários finais de escolher a melhor conectividade para suas necessidades, cria problemas de escalabilidade e traz desvantagem econômica.

## Propriedade Crítica 4: Identificadores Globais Comuns

A Internet é uma infraestrutura que dá suporte a aplicações complexas, algumas delas tão grandes que se espalham pelos continentes e têm milhões de servidores cooperando por trás delas. Os usuários da Internet enxergam elegantes interfaces escondidas atrás de um único nome: Google, Facebook, Microsoft e outros. Mas há uma "cola" essencial que permite que cada usuário se conecte às aplicações que utiliza: endereços IP. Cada pedaço de dados que flui entre o computador de um usuário e as aplicações utilizadas está em um pacote IP e cada pacote IP tem um endereço que diz para onde ele está indo.

---

<sup>8</sup> Para tirar o máximo proveito do roteamento distribuído, uma organização que se conecta à Internet precisa solicitar um Número de Sistema Autônomo (número AS), bem como um bloco de endereços IP que são atribuídos pelos Registros Regionais de Internet e geralmente têm taxas de manutenção periódicas. Entretanto, os Registros não têm acesso, influência, ou conhecimento de como a organização solicitante se conecta à Internet ou roteia seu tráfego.

<sup>9</sup> Ver, por exemplo, "Mutually Agreed Norms for Routing Security", em <https://www.manrs.org/>, onde os atores da indústria demonstram o seu compromisso com a segurança do roteamento, adotando voluntariamente um conjunto de práticas e criando assim um ambiente mais seguro.

Esses endereços IP permitem que dois sistemas na Internet encontrem um ao outro, sem ambiguidade.

Ter identificadores globais comuns proporciona um benefício fundamental: uma endereçabilidade consistente. O espaço de identificadores comum, subjacente a todos os vários níveis de aplicação, proporciona uma visão coerente de toda a rede. De qualquer ponto da Internet, um pequeno pacote de informações pode ser passado de computador para computador, cada um examinando os mesmos poucos bits - o endereço - para identificar claramente um destino. Quando usado como projetado, o endereço IP não está sujeito a abreviação ou interpretação; os endereços IP não podem ser nem confundidos uns com os outros, nem ambíguos. Esse espaço comum de identificadores parece ser uma coisa tão pequena, mas a consistência que ele fornece à Internet é uma propriedade crítica<sup>10</sup>.

Estreitamente ligado aos endereços IP existe outro espaço de identificadores: o Sistema de Nomes de Domínio (DNS) da Internet. O DNS tem muitos usos, mas o mais comum é a criação de um mapeamento consistente entre nomes e endereços IP. A consistência do DNS é uma parte importante do fornecimento de um serviço previsível e confiável para cada usuário da Internet.

Podemos ver como é essencial um espaço único e comum de identificação global, observando o que acontece quando esta propriedade crítica é ameaçada. O exemplo perfeito é a transição contínua dos endereços IPv4 mais curtos para endereços IPv6 mais longos e mais abundantes. Os endereços IPv6 são absolutamente cada vez mais necessários porque simplesmente não existem endereços IPv4 suficientes para acomodar o crescimento da Internet. Mas com a introdução dos endereços IPv6, agora existem dois espaços de identificação global e, se você tem um endereço em um espaço, talvez não consiga alcançar o outro. O desafio é que ambas as famílias de endereços são incompatíveis, o que significa que um dispositivo com um endereço IPv4 não pode trocar dados, ou "falar", com um dispositivo IPv6 sem a necessidade de tradução de endereços. Isto cria fragmentação da Internet e a resistência a esta fragmentação é uma das razões pelas quais a transição de endereços IPv4 para endereços IPv6 está demorando tanto tempo.

O espaço identificador global comum de endereços IP significa que os usuários individuais e os gerentes de rede têm todos uma visão única da rede. Sem esses identificadores globais comuns, teríamos que construir gateways especiais, instalar

---

<sup>10</sup> Compare endereços IP com outro famoso identificador global: números de telefone. Um número como 867-5309 pode confundir um usuário final que quer discar para ele: Oh, isso é muito curto, então eles devem ter deixado de fora o código da cidade, então eu tenho que acrescentar isso, a menos que eu esteja dentro do escritório, quando tenho que discar 9 para conseguir uma linha externa, mas se eu levar meu telefone para os EUA, eu adiciono 001 para o código do país, enquanto que se eu estiver na Suíça, eu apenas discaria +1 para chegar aos EUA e preciso adicionar um 0 antes do código da cidade se eu estiver discando do outro lado da fronteira?" Em comparação com os números de telefone, os endereços IP são um espantoso e incrível sucesso.

tradutores e criar tabelas de mapeamento para manter tudo conectado. A fratura de outros espaços de nomes, como o DNS, também cria custos adicionais, sobrecarga e fricção dentro da rede. A utilidade da Internet seria reduzida e recursos seriam desperdiçados. Em vez disso, com identificadores globais comuns, consistentes e previsíveis, a Internet, uma enorme 'rede de redes', atua como uma única rede conectada.

## Propriedade Crítica 5: Uma Rede de Propósito Geral

Os usos mais populares da Internet mudaram drasticamente desde seus primeiros dias: terminais remotos e transferência de arquivos deram lugar ao e-mail e a sistemas simples de comunicação colaborativa, que evoluíram para a navegação na Web, redes sociais e streaming de mídia. Isto foi possível porque a Internet foi concebida como uma rede de uso geral - não otimizada para voz, padrões de uso particulares, ou características especiais de tráfego. A Internet é completamente agnóstica quanto ao tipo de conteúdo que flui através dela, não garantindo nem qualidade nem conectividade, mas fornecendo o suficiente de ambos para ser uma camada base para serviços de informação, comércio, comunicações, recreação e muito mais.

O benefício de uma rede de propósito geral é a sua capacidade de atender continuamente aos requisitos de um ambiente diversificado, em constante evolução. Sem um propósito específico em mente, a rede atende às necessidades de comunicação de dados de bilhões de pessoas, através de um número infinito de aplicações, todas fazendo coisas diferentes, todas ao mesmo tempo. A Internet tem sido adaptada para tantas utilizações que está deslocando outros tipos de redes: linhas telefônicas de voz dedicadas no mundo, que tiveram um pico há 15 anos, estão sendo substituídas em parte pela telefonia via Internet. Os serviços de streaming de televisão e cinema estão sendo oferecidos através da Internet, substituindo parcialmente a programação entregue através de TV a cabo e redes de satélite. E como a Internet não está associada a nenhuma tecnologia em particular, ela é capaz de reutilizar a infraestrutura de TV a cabo e de satélite como redes de comunicação de dados, incorporando-as também à Internet. Os blocos estruturais da Internet podem ser reorganizados para alcançar um resultado desejado sem a necessidade de coordenação global ou de alterações fundamentais no seu design.

A Internet como uma rede de propósito geral tem desvantagens: embora a Internet possa ser usada para muitas coisas, ela não foi concebida para fazer nenhum trabalho em particular especialmente bem. Por exemplo, sem mecanismos generalizados de controle de congestionamento e de qualidade de serviço, ou a habilidade de gerenciar centralmente a capacidade e a escalabilidade da rede, os serviços de streaming tiveram que estabelecer sistemas elaborados de cache para atender seus assinantes, ou seja, para

garantir que eles possam assistir vídeos de alta definição ou jogar jogos de realidade virtual sem buffer infinito. Mas este desenvolvimento também demonstra a capacidade da Internet de se ajustar, se adaptar e de construir sobre ou alterar partes dela.

Embora as redes que constituem a Internet possam ter sido construídas para fins específicos, sua concepção geral não o foi. Caso contrário, a Internet não teria sido capaz de dar suporte a outros tipos de aplicações. Por exemplo, as primeiras redes telefônicas digitais foram otimizadas para voz, oferecendo chamadas com maior qualidade e eficiência do que a Internet. No entanto, essas redes precisaram ser completamente renovadas para entregar um novo recurso, digamos uma chamada de vídeo, com grandes custos e dificuldades consideráveis. Uma rede de propósito geral pode não ser perfeitamente otimizada para cada nova aplicação, mas pode dar suporte à maioria das novas aplicações. Um design duradouro decorrente de uma Internet de propósito geral permite que os inovadores, conhecendo os benefícios e as desvantagens da rede, desenvolvam suas ideias sem necessidade de pedir permissão, o que produz um rápido avanço, enquanto, em comparação, as mudanças na rede são pequenas e graduais.