

O MODELO NÃO FALA SOZINHO

Como preparar dados BIM para
a era dos agentes de IA.



Open BIM
Academy®

Carlos Dias
especialista em openBIM

O Modelo Não Fala Sozinho

Como preparar dados BIM para a era dos agentes de IA

Carlos Dias
Especialista em openBIM

Capa : Gerada por Inteligência Artificial

Sumário

Introdução — O dado que ninguém vê	4
Capítulo 1 — O mito da interoperabilidade resolvida.....	7
Um projeto de reforma que você certamente reconhece.....	8
A ilusão da caixa fechada	9
Por que isso não doía antes.....	10
Capítulo 2 — Geometria não é significado	12
O que o modelo realmente contém.....	13
A herança do desenho técnico	14
O teste da pergunta inesperada	15
Por que isso importa agora, especificamente	15
Capítulo 3 — bSDD: o vocabulário comum que falta.....	18
O que é, afinal, um dicionário de dados	19
Ontologia de domínio: uma decisão estratégica, não técnica	20
Quem define o vocabulário — e por que isso é uma decisão de poder	21
O que falta no Brasil — e a oportunidade aberta	22
Capítulo 4 — IDS: o contrato que ninguém assina	24
A diferença entre exigir e especificar	25
Do BEP ao IDS: uma evolução necessária	26
IDS como linguagem de exigência entre contratante e fornecedor	27
O IDS na prática: o que um coordenador precisa saber.....	28
Capítulo 5 — A virada: de modelo para agente	30
O que é, exatamente, um agente de IA sobre BIM	31

O que o agente exige do modelo que o humano nunca exigiu	32
A assimetria de confiança	34
O modelo como infraestrutura, não como entrega.....	35
Quem faz essa transição acontecer	36
Capítulo 6 — Determinismo: a propriedade que decide tudo	37
O espectro da confiabilidade.....	38
Três propriedades que definem a qualidade semântica	40
Determinismo como critério de projeto	41
O que muda na prática para gestores e coordenadores.....	42
Capítulo 7 — O Arquiteto de Dados BIM.....	44
O que esse papel não é	45
O que esse papel é.....	46
Por que esse papel está emergindo agora	47
Como desenvolver esse perfil.....	48
O momento é agora	49
Conclusão — A janela de dois a três anos.....	50
Para gestores e organizações: o que fazer agora	51
Para profissionais: como construir o perfil agora	52
A janela específica	54
O modelo que fala.....	55

Introdução — O dado que ninguém vê

Em quase vinte anos lidando com modelos BIM, encontrei poucas coisas tão enganosas quanto um modelo bonito.

Um modelo bonito abre rápido. Gira na tela sem travar. Tem cores certas, texturas certas, um nível de detalhe que impressiona em uma apresentação para o cliente. E é exatamente por isso que ele engana: a qualidade visual de um modelo BIM não diz absolutamente nada sobre a qualidade dos dados que ele carrega. Já vi modelos espetaculares de edifícios corporativos que, por dentro, eram um caos de nomenclaturas inconsistentes, propriedades duplicadas e classificações que não correspondiam a nenhum padrão reconhecível. E já vi modelos modestos, quase feios, que eram dados de altíssima qualidade — auditáveis, consistentes, prontos para qualquer automação que se quisesse construir sobre eles.

Esse descompasso entre aparência e estrutura nunca foi grave o suficiente para forçar uma mudança. Durante anos, o modelo BIM serviu, sobretudo, a olhos humanos: o projetista que abre o arquivo, o coordenador que faz uma verificação visual, o cliente que aprova um clash detection. Olhos humanos toleram inconsistência. Um engenheiro experiente reconhece que "Parede_Ext_01" e "Wall-Ext-01" provavelmente são a mesma coisa, mesmo que o sistema não saiba disso. Esse tipo de tolerância manteve o BIM funcional por duas décadas, apesar de uma camada semântica frequentemente apodrecida por baixo da geometria.

Esse livro nasce de uma constatação simples: essa tolerância está acabando. Não porque os modelos pioraram, mas porque o leitor mudou.

Pela primeira vez, modelos BIM estão sendo consultados — em volume crescente — não por pessoas, mas por agentes de inteligência artificial. Um agente não "reconhece" que dois nomes inconsistentes significam a mesma coisa, a menos que isso esteja explicitamente codificado em algum lugar que ele consiga ler. Um agente não tem o benefício da experiência de campo para preencher lacunas semânticas. Ele lê exatamente o que está lá — nem mais, nem menos. E é justamente essa literalidade que transforma qualidade de dado, da noite para o dia, de um detalhe de boas práticas em um requisito não negociável.

Este não é um livro sobre como programar agentes de IA, nem sobre os detalhes técnicos do formato IFC. Existem ótimas referências para isso. Este é um livro sobre uma camada anterior e mais importante: como pensar a estrutura de dados de um modelo BIM para que ele sirva, ao mesmo tempo, a pessoas e a agentes — sem que servir a um signifique trair o outro.

O público a quem escrevo não é, em primeiro lugar, o programador. É o coordenador BIM, o gestor de projetos, o especialista de dados que precisa decidir o que exigir de um modelo antes mesmo de saber se algum dia um agente vai lê-lo. Essas decisões — sobre nomenclatura, sobre classificação, sobre o que conta como "completo" — são decisões de governança, não de tecnologia. E é exatamente por isso que elas não podem ser deixadas só para quem programa.

Ao longo dos próximos capítulos, vou argumentar que existe um papel emergente no mercado — alguém que entende tanto a semântica de domínio (o que cada elemento de um modelo realmente significa) quanto a lógica de como sistemas automatizados consomem essa

informação. Vou chamar esse papel de Arquiteto de Dados BIM. Ainda não é um título formal em nenhuma empresa que eu conheça. Mas a função já existe, escondida, distribuída entre coordenadores BIM, gestores de dados e — cada vez mais — engenheiros que tropeçam nesse problema na tentativa de fazer um agente de IA funcionar de forma confiável sobre um modelo real.

Esse livro é, em parte, um mapa para quem quer ocupar esse papel antes que ele seja nomeado por outra pessoa.

Capítulo 1 — O mito da interoperabilidade resolvida

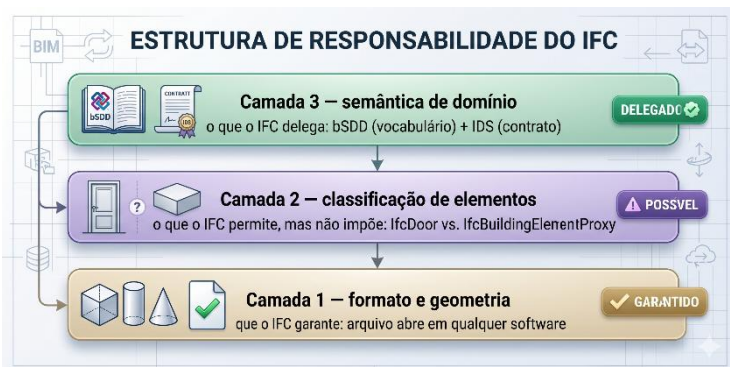


Figura 1 — As três camadas do IFC: o que é garantido, o que é possível e o que é delegado a bSDD e IDS

Há uma frase que ouço com uma frequência quase suspeita em reuniões de projeto: "a gente já trabalha com IFC, então interoperabilidade não é problema". Cada vez que ouço isso, penso na quantidade de vezes em que vi exatamente esse pressuposto desmoronar diante de um caso de uso real.

IFC resolveu um problema real e específico: permitir que diferentes softwares de modelagem exportem e importem geometria e algumas informações associadas, sem depender do formato proprietário de um único fabricante. Isso é uma conquista genuína, e não deveria ser minimizada. Mas há uma diferença enorme entre "o arquivo abre em outro software" e "o dado dentro do arquivo significa a mesma coisa para todos que o leem". A primeira é uma garantia de formato. A segunda é uma

garantia semântica — e o formato IFC, por si só, nunca prometeu a segunda.

Um projeto de reforma que você certamente reconhece

Imagine um projeto típico de retrofit de um edifício corporativo de médio porte. A equipe de arquitetura entrega seu modelo no prazo. A equipe de estrutura entrega o dela. Instalações hidráulicas, elétrica, ar-condicionado — cada disciplina com seu modelo, cada uma usando o software que domina, cada uma com sua convenção interna de nomenclatura. O coordenador BIM recebe tudo isso, faz a federação dos modelos, detecta os clashes mais óbvios e entrega o modelo consolidado ao cliente.

Por dentro desse modelo federado, porém, uma inspeção mais cuidadosa revelaria algo perturbador. O mesmo pavimento-tipo aparece referenciado como "Pav_Tipo_03" no modelo arquitetônico, "P3" no estrutural e "Andar 3" no modelo de instalações. A mesma parede cortina recebe classificações diferentes de cada disciplina — uma a trata como elemento de vedação, outra como elemento estrutural, dependendo do ponto de vista profissional de quem modelou. Propriedades básicas como área de piso, pé-direito livre e carga admissível estão preenchidas em alguns elementos, ausentes em outros, com unidades que ora estão declaradas, ora implícitas.

Para o coordenador humano que conhece o projeto, nada disso é necessariamente um problema. Ele sabe que "Pav_Tipo_03", "P3" e "Andar 3" são a mesma coisa. Ele reconhece visualmente onde está cada parede e pode cruzar informações entre disciplinas usando seu

conhecimento do projeto. A experiência e o contexto preenchem, de forma invisível, todas as lacunas que o dado deixou abertas.

Agora suponha que esse mesmo projeto precise responder a uma pergunta aparentemente simples: "quantos metros quadrados de área climatizada existem por pavimento, considerando apenas salas de reunião com capacidade acima de dez pessoas?". Uma pergunta que qualquer gestor de facilities faria sem pestanejar — e que, se respondida manualmente, vai consumir horas de trabalho de alguém pesquisando em múltiplos modelos, cruzando planilhas e consolidando dados que deveriam, em tese, já estar no modelo BIM.

O problema não é que o IFC não suporte esse tipo de consulta. Ele suporta. O problema é que ninguém garantiu, antes da entrega, que os dados necessários para responder a essa pergunta estariam lá — estruturados, consistentes e com o vocabulário certo. Ninguém assinou um contrato de dados. Ninguém definiu o que "completo" significava além de "geometria sem clashes".

A ilusão da caixa fechada

Existe uma armadilha conceitual recorrente: tratar "ter um arquivo IFC" como um destino, em vez de tratá-lo como um ponto de partida. Um arquivo IFC é uma caixa muito bem desenhada, com compartimentos muito bem definidos — mas a caixa não garante o que vai dentro de cada compartimento. Duas equipes podem produzir arquivos IFC perfeitamente válidos, que passam em qualquer verificação de schema, e que ainda assim são incompatíveis entre si do ponto de vista de significado: uma classifica suas portas de uma forma, a outra de outra; uma preenche um conjunto de propriedades, a

outra preenche um conjunto ligeiramente diferente para o mesmo tipo de elemento.

Isso não é uma falha do padrão. É uma lacuna que o próprio padrão delega, de forma explícita, para outras camadas — camadas que, na prática, a maioria dos projetos nunca chega a implementar com rigor. É exatamente aí que entram conceitos como bSDD e IDS, que vamos explorar nos próximos capítulos: eles existem precisamente para preencher essa lacuna que o IFC, sozinho, deixa aberta de propósito.

Por que isso não doía antes

Vale a pena perguntar: se essa lacuna sempre existiu, por que ela nunca foi tratada como prioridade máxima? A resposta tem menos a ver com tecnologia do que com quem historicamente lia esses modelos.

Um ser humano experiente é um sistema de tolerância a falhas extraordinário. Ele reconhece padrões mesmo quando a nomenclatura é inconsistente, infere intenção a partir de contexto geométrico, e aplica décadas de experiência de domínio para preencher exatamente as lacunas que o dado, por si só, deixa abertas. Esse tipo de inteligência contextual fez o BIM funcional mesmo com uma fundação semântica imperfeita — porque o elo mais frágil da cadeia nunca era o dado puro, era sempre compensado por um humano competente em algum ponto do processo.

O que muda, e é o argumento central deste livro, é que um agente de IA operando sobre esse mesmo modelo não tem esse colchão de tolerância. Ele não vai "perceber" que "Pav_Tipo_03" e "Andar 3" são o mesmo pavimento, a menos que essa equivalência esteja, de alguma forma,

explicitamente disponível para ele consultar. Ele não vai aplicar trinta anos de experiência de obra para resolver uma ambiguidade. Ele vai fazer exatamente o que o dado permite que ele faça — e nada além disso.

Isso significa que toda a dívida semântica acumulada ao longo de duas décadas de "interoperabilidade resolvida" está, agora, vencendo de uma vez. Não porque alguém decidiu que era hora de pagar essa conta, mas porque um novo tipo de leitor chegou à mesa — um leitor que, ironicamente, é ao mesmo tempo mais poderoso e muito menos tolerante do que qualquer um que lia esses modelos antes dele.

É sobre essa virada — do modelo lido por humanos para o modelo consultado por agentes — que trata o restante deste livro.

Capítulo 2 — Geometria não é significado

"Um mapa não é o território que ele representa, mas se for correto, tem uma estrutura similar ao território." — Alfred Korzybski



Figura 2 — As três camadas de um objeto BIM: geometria, classificação e propriedades

Existe um momento, recorrente em qualquer treinamento de BIM para iniciantes, em que alguém faz a seguinte pergunta: "mas se eu consigo ver a porta no modelo, o sistema não sabe que é uma porta?". A resposta honesta é: depende. E a distância entre o "sim" e o "não" dessa resposta é, em grande medida, o tema deste livro.

Geometria é a representação visual de um elemento. Significado é o conjunto de propriedades, classificações e relações que fazem esse elemento ser reconhecível e utilizável por qualquer sistema — humano ou automatizado — que precise raciocinar sobre ele. Um modelo BIM pode ter geometria impecável e significado zero. Pode ter geometria aproximada e significado rico. A

confusão entre os dois é, provavelmente, a fonte de mais frustrações no dia a dia de quem trabalha com BIM do que qualquer outra causa técnica.

O que o modelo realmente contém

Quando um arquiteto modela uma porta em qualquer software BIM convencional, o que ele está criando, do ponto de vista do dado, é um objeto com três camadas distintas de informação. A primeira é a camada geométrica: a representação tridimensional da porta — suas dimensões, sua posição no espaço, a folha, o batente, o sentido de abertura. Essa camada é visualmente rica e, na maioria dos softwares, automaticamente gerada a partir dos parâmetros que o projetista define.

A segunda camada é a classificação: a declaração de que esse objeto é uma porta — não uma janela, não uma abertura genérica, não um bloco de geometria sem tipo. No IFC, isso se traduz na classe do objeto: `IfcDoor`. Parece trivial, mas não é. Um modelo exportado de forma descuidada pode conter portas classificadas como `IfcBuildingElementProxy` — o equivalente de um "objeto desconhecido" — simplesmente porque o exportador não foi configurado corretamente. Para um humano que abre o visualizador, isso pode passar despercebido: a geometria está lá, ele vê uma porta. Para um sistema automatizado que pergunta "liste todas as portas do terceiro pavimento", esse objeto simplesmente não existe.

A terceira camada é a mais rica e a mais frequentemente negligenciada: as propriedades. Resistência ao fogo. Nível de acústica. Material do batente. Fabricante. Requisito de manutenção. Essas são as informações que transformam um objeto geométrico em um dado útil para

fases posteriores do ciclo de vida — operação, manutenção, reforma, demolição. E são exatamente essas informações que, na esmagadora maioria dos projetos, chegam incompletas, inconsistentes ou simplesmente ausentes na entrega final do modelo.

A herança do desenho técnico

Para entender por que essa lacuna é tão persistente, é preciso reconhecer de onde vem o BIM historicamente. As ferramentas de modelagem paramétrica surgiram como evolução do CAD — Computer-Aided Design — que por sua vez era uma evolução digitalizada do desenho técnico em prancheta. Toda a lógica de produção, validação e entrega de projetos foi construída sobre a premissa de que o produto final era visual: uma planta, um corte, uma fachada. A informação existia para ser lida por olhos humanos treinados para interpretar convenções gráficas.

Quando o BIM chegou, ele trouxe a promessa de que o modelo seria mais do que um conjunto de vistas — seria um banco de dados do edifício. Mas a cultura de produção e entrega não mudou na mesma velocidade. Contratos continuaram sendo redigidos em termos de pranchas entregues. Aprovações continuaram sendo feitas sobre representações visuais. A camada de dados — que era, em tese, o maior diferencial do BIM — foi tratada como bônus opcional, não como requisito contratual.

O resultado é que, em boa parte dos escritórios e construtoras que hoje dizem "trabalhar com BIM", o modelo cumpre uma função primariamente visual. As propriedades estão parcialmente preenchidas — o suficiente para gerar tabelas de quantitativos básicos, talvez, mas não o suficiente para alimentar qualquer

análise mais sofisticada de ciclo de vida, e definitivamente não o suficiente para ser consultado de forma confiável por um agente de IA.

O teste da pergunta inesperada

Uma forma prática de avaliar a qualidade semântica de um modelo é o que eu chamo de teste da pergunta inesperada. Consiste em fazer ao modelo uma pergunta que não estava no checklist original de entrega — uma pergunta real, que alguém do time de operação ou manutenção faria após a construção — e ver até onde o dado consegue responder sem intervenção manual.

Alguns exemplos de perguntas desse tipo em projetos de construção civil e infraestrutura: Quais portas corta-fogo do pavimento de refúgio precisam de manutenção preventiva nos próximos seis meses, com base na data de instalação registrada no modelo? Quais lajes do estacionamento têm impermeabilização com garantia vencendo em menos de dois anos? Em quais trechos da galeria de drenagem a declividade registrada está abaixo do mínimo normativo?

Na maioria dos modelos entregues hoje, nenhuma dessas perguntas tem resposta direta. Não porque a informação seja impossível de modelar — ela é. Não porque o IFC não suporte esses dados — ele suporta. Mas porque ninguém exigiu, antes da entrega, que esses campos estivessem preenchidos com dados confiáveis e padronizados. O modelo foi entregue "completo" segundo um critério que é, na prática, quase exclusivamente geométrico.

Por que isso importa agora, especificamente

A questão da qualidade semântica de modelos BIM não é nova. Pesquisadores e profissionais mais exigentes falam sobre isso há pelo menos quinze anos. O que mudou não é o problema em si, mas a urgência e a natureza das consequências de ignorá-lo.

Enquanto os únicos usuários do modelo eram humanos, a consequência de uma lacuna semântica era, no pior dos casos, retrabalho: alguém tinha que ir manualmente ao modelo, procurar a informação, consolidar em uma planilha, responder à pergunta. Custoso, lento, frustrante — mas contornável. O humano sempre podia ser o elo de compensação.

Com agentes de IA operando sobre modelos BIM, a natureza da consequência muda. Um agente que recebe uma pergunta e não encontra o dado estruturado para respondê-la não vai ao modelo "verificar manualmente". Ele vai, dependendo de como foi programado, ou retornar um resultado vazio, ou — o que é muito pior — inferir uma resposta a partir de dados insuficientes, sem sinalizar claramente que está fazendo uma inferência. Em contextos de alta consequência — segurança de obra, manutenção de infraestrutura crítica, conformidade regulatória — essa diferença não é apenas operacional. É uma diferença de risco.

Há um paradoxo aparente aqui que vale explicitar: agentes de IA são, em muitos sentidos, mais capazes do que ferramentas BIM tradicionais. Eles conseguem cruzar informações de múltiplas fontes, raciocinar sobre dados incompletos, gerar respostas em linguagem natural que qualquer stakeholder consegue entender. Mas toda essa capacidade é diretamente proporcional à qualidade do dado que alimenta o agente. Um agente poderoso sobre dados ruins não é uma solução — é uma

fonte de respostas erradas entregues com alta confiança. E respostas erradas entregues com alta confiança são, na maioria das vezes, mais perigosas do que a ausência de resposta.

É por isso que a questão da arquitetura de dados BIM — como estruturar o dado para que ele seja confiável, consistente e consultável — deixou de ser uma preocupação de especialistas e se tornou uma questão estratégica para qualquer organização que esteja, ou pretenda estar, usando IA em seus fluxos de trabalho de construção e infraestrutura.

Nos próximos capítulos, vamos explorar as ferramentas concretas que existem para construir essa camada de significado: o bSDD como vocabulário compartilhado de domínio, o IDS como contrato de dados exigível, e a própria estrutura relacional do IFC como infraestrutura que conecta tudo isso. Não como detalhes técnicos a serem delegados a especialistas, mas como decisões de governança que todo coordenador e gestor de BIM precisa entender para tomar boas decisões sobre o que exigir — e o que entregar.

Capítulo 3 — bSDD: o vocabulário comum que falta

"Se você quer falar com alguém, primeiro precisa ter certeza de que as palavras que você usa significam a mesma coisa para os dois." — Wittgenstein, paráfrase



Figura 3 — Disciplinas com vocabulários distintos convergindo para o bSDD como âncora semântica comum

Imagine dois engenheiros de diferentes escritórios discutindo um projeto de requalificação urbana. O primeiro chama de "pavimento drenante" o revestimento permeável aplicado em calçadas e praças. O segundo usa o mesmo termo para se referir a uma camada estrutural de macadame betuminoso drenante em vias de tráfego. Para um humano presente na reunião, a diferença fica clara pelo contexto em poucos minutos. Para um modelo BIM que precisa responder consistentemente a consultas sobre esse projeto por anos — possivelmente sendo lido por pessoas e sistemas que nunca participaram dessa reunião — a ambiguidade não se resolve sozinha. Ela se cristaliza no dado e se propaga silenciosamente.

Esse é o problema que o bSDD — buildingSMART Data Dictionary — foi criado para resolver. Não é um problema de tecnologia. É um problema de linguagem.

O que é, afinal, um dicionário de dados

A palavra "dicionário" aqui não é metáfora leviana. Um dicionário de dados de construção funciona exatamente como um dicionário de língua: ele registra, de forma sistemática e com autoridade, o que cada termo significa, como deve ser usado e em que contexto se aplica. A diferença é que, em vez de palavras de uma língua natural, o bSDD registra os conceitos, propriedades e classes de objetos que aparecem em modelos BIM de construção e infraestrutura.

Na prática, isso significa que quando uma organização publica no bSDD a definição de "porta corta-fogo", ela não está apenas dando um nome a um objeto. Ela está declarando: este objeto tem estas propriedades específicas (resistência ao fogo em minutos, largura livre, sentido de abertura, certificação aplicável); essas propriedades têm estes tipos de dado (número inteiro, enumeração, booleano); e esses termos se conectam a estas classes IFC correspondentes. Qualquer modelo que referencie essa definição estará, por construção, usando o mesmo vocabulário — independentemente de qual software gerou o modelo, de qual país vem a equipe ou de qual escritório fez a modelagem.

Isso pode parecer abstrato, mas as consequências práticas são imediatas. Um agente de IA que precisa identificar e listar todas as portas corta-fogo de um edifício com resistência mínima de sessenta minutos consegue fazer essa consulta de forma confiável em qualquer modelo que referencie a mesma definição no

bSDD. Sem essa âncora semântica compartilhada, o agente precisa inferir o que "corta-fogo" significa a partir de propriedades cujos nomes e formatos variam de projeto para projeto — e a confiabilidade da consulta cai proporcionalmente a essa variação.

Ontologia de domínio: uma decisão estratégica, não técnica

O conceito por trás do bSDD tem um nome técnico que vale conhecer, mesmo para quem não vai trabalhar diretamente com a ferramenta: ontologia de domínio. Uma ontologia de domínio é, simplificando, um mapa formal de como os conceitos de uma área de conhecimento se relacionam entre si — o que existe, como cada coisa é chamada, quais propriedades ela tem e como se conecta a outras coisas.

Em construção civil, a ausência de ontologias de domínio formalizadas é uma das razões pelas quais a integração entre disciplinas ainda é tão manual e propensa a erros. Arquitetura, estrutura, instalações mecânicas, elétricas e hidrossanitárias — cada disciplina desenvolveu ao longo de décadas seu próprio vocabulário, suas próprias convenções, seus próprios critérios de classificação. Quando esses vocabulários precisam coexistir em um modelo federado, o resultado é o que qualquer coordenador BIM experiente reconhece: reuniões longas para alinhar nomenclaturas, planilhas de mapeamento mantidas manualmente e um risco constante de que algum elemento seja perdido na tradução entre sistemas.

Uma ontologia de domínio formalizada no bSDD não elimina a diversidade de vocabulários — cada disciplina pode e deve manter seus termos específicos. O que ela faz é criar uma camada de correspondência explícita e

persistente: este termo em arquitetura equivale a este em estrutura, que por sua vez se conecta a esta classe no IFC e a esta propriedade neste sistema de facilities management. Essa camada de correspondência, quando existe, transforma o problema de integração de um trabalho manual e recorrente em uma consulta automatizável.

Quem define o vocabulário — e por que isso é uma decisão de poder

Há uma dimensão política no bSDD que raramente é discutida abertamente, mas que qualquer profissional que já tentou padronizar nomenclaturas em uma organização grande vai reconhecer imediatamente: definir o vocabulário é um ato de poder. Quem nomeia as coisas, em última instância, define como elas são percebidas, medidas e cobradas.

Isso tem implicações práticas muito concretas. Quando uma construtora de grande porte publica no bSDD sua própria ontologia de domínio — com suas definições de tipos de parede, categorias de revestimento, classificações de sistema predial — ela está, na prática, criando um padrão que todos os seus fornecedores e projetistas precisarão adotar para que seus modelos sejam compatíveis. Isso é um ativo competitivo real, não um detalhe técnico.

Da mesma forma, quando uma agência reguladora ou órgão público publica no bSDD as definições que serão usadas como referência em contratos de obra pública — definindo exatamente o que conta como "piso acessível", quais propriedades um "sistema de drenagem pluvial" precisa ter, ou o que qualifica uma "estrutura de contenção" —, ela está criando uma infraestrutura de

linguagem que vai guiar como projetos são modelados, entregues e verificados por anos ou décadas.

Entender o bSDD apenas como uma ferramenta técnica de padronização é subestimá-lo. Ele é, antes de qualquer coisa, um mecanismo de governança de linguagem — e as organizações que chegarem primeiro a esse espaço com definições bem construídas terão uma vantagem duradoura sobre as que chegarem depois tentando adaptar seus modelos a um vocabulário definido por outros.

O que falta no Brasil — e a oportunidade aberta

O bSDD existe e está em operação. Organizações de todo o mundo publicam dicionários nele — fabricantes de componentes, institutos de normalização, agências governamentais, grandes construtoras. A buildingSMART International mantém a infraestrutura; qualquer organização pode publicar seu próprio dicionário, referenciá-lo em seus modelos IFC e exigir que seus parceiros façam o mesmo.

No Brasil, o cenário ainda é de oportunidade mais do que de consolidação. Existem iniciativas pontuais — algumas ligadas ao BIM Fórum Brasil, algumas a organizações específicas — mas não há ainda um conjunto robusto de dicionários de domínio publicados em português que cubra os principais segmentos da construção civil brasileira: edificações residenciais e comerciais, infraestrutura urbana, mobilidade, saneamento. Isso significa que a maioria dos modelos BIM produzidos no Brasil hoje não referencia nenhuma ontologia de domínio formal — cada projeto define suas próprias convenções, e essas convenções morrem com o projeto.

Para quem está pensando em posicionamento estratégico no mercado de dados BIM, esse vácuo é ao mesmo tempo um diagnóstico e uma oportunidade. As organizações — sejam construtoras, incorporadoras, órgãos públicos ou escritórios de projeto — que investirem agora em construir e publicar suas ontologias de domínio no bSDD estarão criando um ativo que vai valorizar com o tempo: à medida que a automação e os agentes de IA se tornam mais presentes nos fluxos de trabalho de construção, a disponibilidade de um vocabulário compartilhado e formalizado passa de diferencial a requisito.

No próximo capítulo, vamos dar o passo seguinte: uma vez que o vocabulário está definido, como garantir que os modelos entregues realmente o usem? É aí que entra o IDS — o mecanismo que transforma o vocabulário em contrato.

Capítulo 4 — IDS: o contrato que ninguém assina

"Confiança é bom, controle é melhor." — Atribuído a Lênin; popularizado na gestão industrial

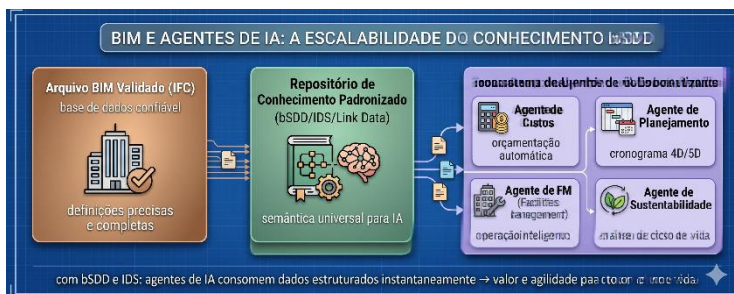


Figura 4 — O ciclo IDS: da exigência vaga no kickoff à entrega com evidência objetiva

Há uma cena que se repete com variações mínimas em praticamente todo projeto BIM de médio e grande porte: a reunião de kickoff na qual o contratante declara suas exigências de modelagem. Nível de detalhe por fase, nomenclatura de arquivos, disciplinas obrigatórias, software a ser usado. Eventualmente, alguém menciona que o modelo deve conter "todas as propriedades necessárias para operação e manutenção". Todos concordam. A reunião termina. E então o projeto começa — e cada equipe interpreta "todas as propriedades necessárias" de forma ligeiramente diferente, porque ninguém definiu o que isso significava de forma verificável.

Meses depois, na entrega, o modelo chega. Geometria correta, clashes resolvidos, arquivos organizados. E então começa a descoberta gradual de que dezenas de

propriedades críticas estão ausentes, inconsistentes ou preenchidas com valores que não correspondem ao formato esperado. Retrabalho, negociações, revisões. O contrato dizia "modelo completo". O modelo foi entregue. Mas "completo" nunca foi definido com precisão suficiente para ser verificado automaticamente.

O IDS — Information Delivery Specification — é a resposta formal a esse problema. É, em essência, um contrato de dados: um documento legível tanto por humanos quanto por máquinas que define, com precisão verificável, quais informações um modelo IFC deve conter, em que formato, para quais elementos e em qual fase do projeto.

A diferença entre exigir e especificar

Vale distinguir dois verbos que frequentemente se confundem em contextos de gestão de dados BIM: exigir e especificar. Exigir é dizer "quero que o modelo tenha as propriedades de operação e manutenção". Especificar é dizer "para todos os elementos da classe IfcDoor com PredefinedType DOOR, o property set Pset_DoorCommon deve conter a propriedade FireRating com valor do tipo texto não vazio, referenciando a norma ABNT NBR 11742".

A diferença não é de rigor intelectual — é de verificabilidade. Uma exigência pode ser interpretada. Uma especificação pode ser testada. E apenas o que pode ser testado pode ser auditado automaticamente — por uma ferramenta de validação, por um script, por um agente de IA que precisa saber se o modelo que está prestes a consultar contém os dados de que vai precisar.

O IDS formaliza exatamente essa distinção. Um arquivo IDS é um documento estruturado — tecnicamente, um XML com schema próprio definido pela buildingSMART — que lista um conjunto de especificações de informação, cada uma declarando: para este tipo de elemento, nesta fase, esta propriedade é obrigatória, com este tipo de dado, com estes valores permitidos. Esse arquivo pode ser entregue ao modelador como parte do contrato, usado como checklist durante o desenvolvimento e executado como teste automático de conformidade na entrega.

Do BEP ao IDS: uma evolução necessária

Quem trabalha com BIM há alguns anos conhece bem o BEP — BIM Execution Plan, ou Plano de Execução BIM. O BEP é o documento que estabelece como o BIM será implementado em um projeto: responsabilidades, softwares, fluxos de revisão, critérios de entrega. É um documento importante e necessário. Mas tem uma limitação estrutural que o IDS resolve: o BEP é um documento para humanos lerem, não para máquinas executarem.

Um BEP pode dizer que "os modelos de arquitetura devem conter informações de desempenho térmico dos elementos de fachada". Isso é claro o suficiente para um coordenador humano entender a intenção. Mas não é preciso o suficiente para que uma ferramenta de validação verifique automaticamente se o modelo entregue atende a essa exigência. Qual property set? Qual nome de propriedade? Qual unidade? Qual faixa de valores aceitável? Sem essas definições, a verificação continua sendo manual — e manual significa sujeita a erro, inconsistência e negociação a cada entrega.

O IDS não substitui o BEP. Ele o complementa com uma camada de precisão que o BEP, por sua natureza narrativa, nunca conseguiu ter. Juntos, formam um sistema completo de governança de dados: o BEP estabelece o contexto, as responsabilidades e os fluxos; o IDS define os critérios de conformidade que podem ser verificados automaticamente em qualquer ponto do processo.

IDS como linguagem de exigência entre contratante e fornecedor

Uma das consequências mais interessantes do IDS é a forma como ele reconfigura a relação entre contratante e fornecedor de modelagem. Quando os critérios de conformidade são vagos e narrativos, o poder tende a se concentrar no contratante — que pode sempre alegar que o modelo não atende às suas exigências, mesmo sem conseguir especificar exatamente o que falta. Quando os critérios são precisos e verificáveis, a relação se torna mais simétrica: o fornecedor sabe exatamente o que precisa entregar, pode testar sua própria entrega antes de submeter e tem como demonstrar objetivamente que os requisitos foram atendidos.

Isso tem um efeito interessante na dinâmica de responsabilidade. Se um modelo passa em todas as validações IDS e, mesmo assim, não consegue responder a uma consulta que o contratante esperava, a questão deixa de ser "o modelo está incompleto?" e passa a ser "o IDS estava especificado corretamente?". Essa é uma conversa muito mais produtiva — e muito mais honesta — do que a negociação vaga sobre o que "completo" significa.

Para organizações que estão construindo processos de entrega BIM mais maduros, o IDS oferece algo valioso: a possibilidade de transformar critérios de qualidade de dado em requisitos contratuais verificáveis. Não como punição ao fornecedor, mas como clareza mútua — e como infraestrutura para automação. Um modelo que passa em um IDS bem especificado é, por definição, um modelo que um agente de IA consegue consultar com previsibilidade.

O IDS na prática: o que um coordenador precisa saber

Para um coordenador BIM ou gestor de projetos que nunca trabalhou diretamente com IDS, a pergunta prática é inevitável: o que eu preciso fazer diferente no meu projeto para incorporar isso?

A resposta honesta é: mais do que uma ferramenta nova, o IDS exige uma mudança de mentalidade anterior ao projeto. A especificação de informação — o que o modelo precisa conter, para quem, em que fase — precisa ser pensada antes que a modelagem comece, não depois que ela termina. Isso parece óbvio, mas na prática a maioria dos projetos ainda define seus critérios de entrega de forma retroativa: o modelo chega, o coordenador avalia, identifica o que falta e pede revisão. Com IDS, esse ciclo se inverte: os critérios são definidos no início, incorporados ao contrato e verificados continuamente durante o desenvolvimento.

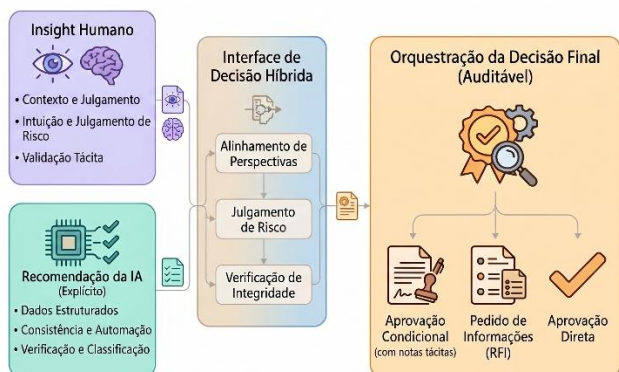
Na prática, isso significa que o coordenador ou gestor precisa ser capaz de responder, no início do projeto, a perguntas como: quais perguntas este modelo precisará responder ao longo do seu ciclo de vida? Quais sistemas ou agentes vão consumi-lo? Quais propriedades são

indispensáveis para operação, manutenção e eventual reforma? Essas perguntas não são técnicas — são de negócio. E é exatamente por isso que não podem ser delegadas apenas ao especialista em BIM. Precisam ser respondidas por quem entende o uso final do ativo.

Nos próximos capítulos, vamos ver como bSDD e IDS se articulam com a estrutura interna do IFC — e como essa articulação cria a base sobre a qual agentes de IA conseguem operar com confiança. Mas antes disso, vale consolidar o argumento central que percorre esses dois capítulos: qualidade de dado não é um problema técnico. É uma decisão de governança. E decisões de governança precisam ser tomadas por quem tem autoridade e responsabilidade sobre o projeto — não apenas por quem opera as ferramentas.

Capítulo 5 — A virada: de modelo para agente

"A questão não é se as máquinas podem pensar. A questão é se os homens podem." — B. F. Skinner



Julgamento Humano + Consistência da IA = Decisão Orquestrada, Auditável e Segura.

Figura 5 — O mesmo modelo BIM lido por dois perfis cognitivos opostos: o humano experiente e o agente de IA

Durante a maior parte da história do BIM, a pergunta implícita por trás de qualquer decisão de modelagem era: como isso vai aparecer para o humano que abrir este arquivo? O nível de detalhe geométrico, as propriedades preenchidas, a organização da hierarquia espacial — tudo era calibrado, consciente ou inconscientemente, para um leitor humano com software de visualização aberto na tela.

Essa calibração fazia sentido. Era o humano que tomava decisões com base no modelo — o engenheiro que aprovava um detalhe construtivo, o gestor que autorizava uma compra, o operador que consultava uma ficha

técnica de equipamento. O modelo era um meio de comunicação entre pessoas. E como toda mídia de comunicação entre pessoas, ele foi otimizado para a cognição humana: visual, contextual, tolerante a ambiguidade, capaz de inferir intenção a partir de forma.

O que está mudando — rapidamente, e de forma irreversível — é que esse leitor humano está ganhando um par: o agente de IA. Não como substituto, mas como intermediário cada vez mais presente entre o modelo e a decisão humana. E esse novo intermediário tem um perfil cognitivo radicalmente diferente do humano que o antecede.

O que é, exatamente, um agente de IA sobre BIM

A palavra "agente" carrega muita carga semântica em diferentes contextos. Vale ser preciso sobre o que significa aqui. Um agente de IA, no contexto deste livro, é um sistema computacional capaz de receber uma pergunta ou instrução em linguagem natural, consultar um ou mais modelos BIM de forma autônoma, cruzar as informações encontradas com outras fontes de dados relevantes e produzir uma resposta estruturada — também em linguagem natural — sem que um humano precise intermediar cada passo dessa consulta.

Na prática, isso se traduz em cenários como: um gestor de facilities que pergunta ao agente "quais equipamentos de climatização do bloco B têm manutenção preventiva vencida?", e recebe em segundos uma lista com identificação, localização e data de vencimento de cada item — extraída diretamente do modelo BIM e cruzada com o calendário de manutenção. Ou um coordenador de obra que pergunta "há alguma incompatibilidade entre o

modelo estrutural e o de instalações elétricas no pavimento seis?", e recebe uma síntese dos clashes identificados, priorizados por impacto, sem precisar abrir manualmente nenhum visualizador.

Esses cenários não são ficção científica. São aplicações que já estão sendo desenvolvidas e implantadas em projetos reais em diferentes partes do mundo. O que as distingue das ferramentas BIM tradicionais não é a complexidade técnica subjacente — é a interface. O agente fala a língua do humano, não a língua do software. E isso muda fundamentalmente quem consegue usar o modelo BIM como fonte de informação — expandindo o acesso muito além dos especialistas que sabem operar as ferramentas.

O que o agente exige do modelo que o humano nunca exigiu

Aqui está o ponto central deste capítulo, e talvez de todo o livro: um agente de IA e um humano experiente fazem perguntas ao mesmo modelo, mas com pressupostos radicalmente diferentes sobre o que vão encontrar lá.

O humano chega ao modelo com um arsenal de conhecimento tácito: sabe o que "tipicamente" vai encontrar em um projeto daquele tipo, reconhece convenções implícitas de nomenclatura, infere a partir de contexto geométrico quando uma propriedade está faltando, e — crucialmente — sabe quando parar de confiar no dado e ir verificar a informação em outra fonte. Esse arsenal de conhecimento tácito é o resultado de anos de experiência profissional. Ele não está no modelo. Está na cabeça do profissional.

O agente não tem esse arsenal. Ele tem acesso ao que está no modelo, ao que foi explicitamente programado em sua lógica de consulta, e — cada vez mais — a bases de conhecimento externas que podem ser consultadas para complementar o dado do modelo. Mas ele não tem experiência tácita de campo. Não reconhece convenções implícitas. Não infere a partir de contexto geométrico sem que essa inferência tenha sido explicitamente codificada em algum lugar.

Isso cria uma lista de exigências que o modelo precisa atender para ser consultável por um agente com confiança — exigências que vão além do que qualquer checklist de entrega BIM tradicional contempla. Classificações corretas e completas, sem proxies ou objetos genéricos onde deveria haver tipos específicos. Propriedades nomeadas de forma consistente, preferencialmente referenciando definições de um dicionário de dados compartilhado. Relações espaciais íntegras, para que o agente saiba a que pavimento, zona ou sistema cada elemento pertence. Valores com unidades declaradas, não implícitas. E ausência de contradições internas — um elemento não pode ter ao mesmo tempo propriedades que indicam que está instalado e outras que indicam que está apenas projetado, sem que essa distinção esteja explicitamente marcada.

Nenhum desses requisitos é novo na teoria. Todos eles aparecem, em alguma forma, em guias de boas práticas de BIM há anos. O que mudou é que agora eles têm uma consequência direta e imediata: um modelo que não os atende não é apenas "menos útil" para automação. É ativamente perigoso — porque um agente operando sobre dado inconsistente pode produzir respostas erradas sem qualquer sinal de que algo deu errado.

A assimetria de confiança

Há uma assimetria importante na forma como humanos e agentes lidam com dados incompletos ou inconsistentes, e ela merece atenção específica.

Quando um humano encontra uma inconsistência em um modelo — uma propriedade ausente, um valor implausível, uma classificação que não faz sentido para aquele elemento —, ele tipicamente para, reconhece a inconsistência e ou vai buscar a informação correta em outra fonte, ou sinaliza o problema para quem pode resolvê-lo. Há um mecanismo natural de cautela que age como freio: a inconsistência gera desconfiança, e a desconfiança gera verificação.

Um agente de IA mal configurado ou operando sobre dados de qualidade insuficiente pode não ter esse freio. Dependendo de como foi programado, ele pode preencher lacunas com inferências não sinalizadas, usar valores inconsistentes sem identificar a contradição, ou — o caso mais preocupante — produzir uma resposta numericamente coerente a partir de dados errados, gerando um resultado que parece confiável mas não é.

Esse fenômeno tem um nome no campo de IA: alucinação com alta confiança. E ele é especialmente perigoso em contextos de infraestrutura e construção, onde decisões tomadas com base em informação errada têm consequências físicas reais — orçamentos errados, especificações incorretas, falhas de manutenção, riscos de segurança. A boa notícia é que esse risco não é inerente ao uso de agentes: ele é diretamente proporcional à qualidade do dado sobre o qual o agente opera. Um modelo bem estruturado, com classificações corretas, propriedades consistentes e referências semânticas

explícitas, reduz drasticamente o espaço para inferências não fundamentadas.

Em outras palavras: a melhor defesa contra alucinação em agentes BIM não é uma defesa técnica no agente — é uma defesa nos dados. É garantir que o modelo seja suficientemente rico e consistente para que o agente raramente precise inferir o que não está explícito.

O modelo como infraestrutura, não como entrega

Uma mudança de perspectiva que o surgimento dos agentes torna inevitável é a forma como pensamos sobre o modelo BIM ao longo do tempo. Na cultura tradicional de projetos, o modelo é tratado como uma entrega: algo que é produzido, revisado, aprovado e arquivado. Ele tem um ciclo de vida com início, meio e fim. Após a conclusão da obra, ele vai para um repositório e raramente é consultado de forma sistemática.

Quando agentes de IA passam a operar continuamente sobre o modelo — consultando dados de operação, rastreando manutenções, identificando anomalias, respondendo a perguntas do gestor do ativo —, o modelo deixa de ser uma entrega e passa a ser uma infraestrutura. Assim como a rede elétrica de um edifício, ele precisa estar sempre disponível, sempre atualizado e sempre confiável. Uma inconsistência de dado não é mais um problema de qualidade de entrega — é uma falha de infraestrutura.

Essa mudança de perspectiva tem implicações profundas para como contratos são redigidos, como equipes são organizadas e como o sucesso de um projeto é medido. Um edifício entregue com modelo geometricamente

perfeito, mas semanticamente inconsistente, não é um sucesso — é um ativo digital que vai degradar ao longo do tempo, à medida que as pessoas que conheciam as convenções implícitas do projeto vão saindo e o modelo vai se tornando progressivamente ilegível para qualquer sistema automatizado.

Pensar o modelo como infraestrutura significa investir na sua qualidade semântica desde o início — não como custo adicional de projeto, mas como parte do valor do ativo. Um edifício cujo modelo digital é plenamente consultável por agentes de IA ao longo de toda a sua vida útil é, objetivamente, um ativo mais valioso do que um edifício cujo modelo é apenas um arquivo de geometria que ninguém mais consegue usar de forma produtiva.

Quem faz essa transição acontecer

A transição de um mercado que trata modelos BIM como entregas para um mercado que os trata como infraestrutura não vai acontecer sozinha. Ela requer profissionais capazes de entender tanto a lógica do dado — o que precisa estar no modelo, em que formato, com que referências semânticas — quanto a lógica do uso — quais perguntas serão feitas ao modelo, por quem, com que frequência e com que consequências.

Esse perfil profissional — que chamei de Arquiteto de Dados BIM na introdução deste livro — é o tema do capítulo sete. Antes disso, porém, precisamos explorar o conceito que conecta tudo o que discutimos até aqui: o determinismo. Por que a previsibilidade do comportamento de um agente é diretamente proporcional à qualidade do dado que o alimenta — e o que isso significa para quem projeta e governa modelos BIM.

Capítulo 6 — Determinismo: a propriedade que decide tudo

"Não existe dado neutro. Todo dado é uma escolha — sobre o que registrar, como nomear, que nível de detalhe preservar." — anônimo

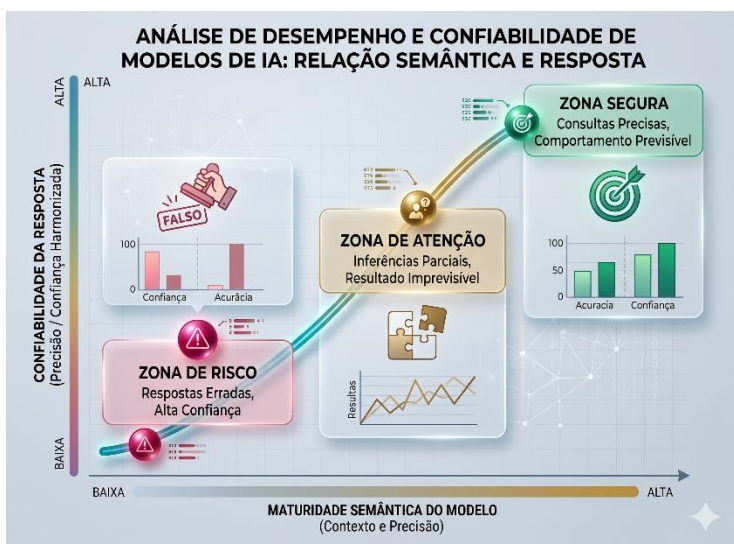


Figura 6 — Espectro: qualidade semântica do modelo × confiabilidade do agente

Existe uma palavra que aparece com frequência crescente em discussões sobre IA aplicada a processos críticos — e que raramente é definida com a precisão que merece: determinismo. No contexto de sistemas computacionais, um comportamento determinístico é aquele que, dadas as mesmas entradas, produz sempre as mesmas saídas. É previsível. É auditável. É o tipo de comportamento que permite a uma organização confiar num sistema

automatizado para tomar — ou informar — decisões consequentes.

Agentes de IA, por sua natureza, não são totalmente determinísticos no sentido clássico do termo. Eles operam com probabilidades, não com certezas. Mas há um tipo de imprevisibilidade que é inerente ao modelo de linguagem subjacente — e há um tipo de imprevisibilidade que é introduzida pelos dados sobre os quais o agente opera. O primeiro é uma questão de arquitetura de IA. O segundo é uma questão de arquitetura de dados BIM. E é o segundo que este capítulo aborda.

A tese central é simples: quanto mais rica, consistente e semanticamente estruturada for a informação que um agente recebe, mais previsível e confiável será o seu comportamento. Inversamente, quanto mais ambíguo, incompleto ou contraditório for o dado, mais o agente vai precisar inferir — e inferências não verificadas são a principal fonte de erros em sistemas de IA operando sobre dados do mundo real.

O espectro da confiabilidade

Não existe uma divisão binária entre "modelo que um agente consegue usar" e "modelo que um agente não consegue usar". Existe um espectro — e a posição de um modelo nesse espectro determina diretamente o tipo de comportamento que se pode esperar de qualquer agente que o consulte.

Numa extremidade desse espectro estão modelos com classificações incorretas ou ausentes, propriedades sem nomes padronizados, sem referência a nenhum dicionário de dados externo e com relações espaciais

incompletas. Um agente operando sobre esse tipo de modelo pode até conseguir responder a perguntas simples — "quantos elementos existem no modelo?" — mas vai falhar sistematicamente em qualquer consulta que exija raciocínio sobre tipo, propriedade ou relação. E o que é mais perigoso: pode não sinalizar essa falha. Pode produzir um número, uma lista, uma resposta aparentemente coerente — que não corresponde à realidade do modelo.

Na outra extremidade estão modelos onde cada elemento tem sua classe IFC correta, suas propriedades estão nomeadas de acordo com definições publicadas no bSDD, as exigências de informação foram especificadas num IDS que foi validado, e as relações entre elementos — espaciais, funcionais, de composição — estão explicitamente registradas. Um agente operando sobre esse tipo de modelo consegue responder a perguntas complexas com alta confiabilidade: não porque o agente em si seja mais sofisticado, mas porque o dado que ele consulta é suficientemente estruturado para que as respostas emergjam diretamente dos fatos registrados, sem necessidade de inferência.

Entre esses dois extremos há uma zona de atenção — a mais comum na prática atual — onde modelos têm classificações parcialmente corretas, algumas propriedades padronizadas e outras não, referências semânticas em alguns elementos mas não em todos. Nessa zona, o comportamento do agente é imprevisível de uma forma específica: ele vai funcionar bem para algumas consultas e falhar silenciosamente em outras, dependendo de quais partes do modelo estão bem estruturadas e quais não estão. Esse tipo de imprevisibilidade seletiva é o mais difícil de detectar — e

o mais perigoso em contextos operacionais, porque cria a ilusão de que o sistema está funcionando.

Três propriedades que definem a qualidade semântica

A partir dessa análise do espectro, é possível identificar três propriedades fundamentais que determinam se um modelo BIM é ou não consultável de forma confiável por um agente de IA. Não são as únicas propriedades relevantes, mas são as que têm maior impacto na previsibilidade do comportamento do agente.

A primeira é a completude semântica: todos os elementos que deveriam ter tipo, propriedades e relações registradas efetivamente os têm. Um modelo com completude semântica alta não tem buracos — não há elementos sem classificação, não há property sets vazios onde deveria haver informação, não há relações espaciais faltando. Para um agente, um buraco no dado é indistinguível de uma ausência real — um elemento sem a propriedade "data de instalação" não significa necessariamente que a data é desconhecida; pode significar que ninguém preencheu o campo. O agente não tem como distinguir esses dois casos sem informação adicional explícita.

A segunda é a consistência: o mesmo tipo de informação é registrado da mesma forma em todo o modelo. Consistência não é apenas nomenclatura — é tipo de dado, unidade, formato, faixa de valores. Uma propriedade registrada como número inteiro em alguns elementos e como texto em outros não é apenas esteticamente indesejável: ela cria ambiguidade que um agente precisa resolver antes de poder usar a informação.

E resolver ambiguidade significa inferir — e inferência é exatamente o que queremos minimizar.

A terceira é a rastreabilidade: cada elemento e cada propriedade pode ser relacionado a uma definição externa verificável — uma classe IFC, uma propriedade no bSDD, uma exigência num IDS. Rastreabilidade é o que transforma um dado local num dado interoperável. Um elemento classificado como IfcDoor sem nenhuma referência adicional é mais rastreável do que um IfcBuildingElementProxy com um nome descritivo. Uma propriedade referenciando uma definição no bSDD é mais rastreável do que uma propriedade com nome livre. Quanto maior a rastreabilidade, menor a dependência de contexto para interpretar o dado.

Determinismo como critério de projeto

O argumento deste capítulo tem uma implicação prática direta: completude, consistência e rastreabilidade não são apenas métricas de qualidade de dado a serem avaliadas após a entrega do modelo. Elas precisam ser incorporadas como critérios de projeto desde o início — como parte do que define, contratualmente, o que é um modelo "completo".

Isso é uma mudança de perspectiva significativa para a maioria das organizações que trabalham com BIM hoje. Atualmente, a maioria dos critérios de aceitação de modelos é geométrica — clashes resolvidos, níveis de detalhe atingidos, pranchas geradas. A qualidade semântica, quando avaliada, tende a ser avaliada de forma manual e subjetiva: "as propriedades importantes estão preenchidas?" é uma pergunta diferente de "as propriedades especificadas no IDS estão presentes, com os tipos corretos e dentro dos valores permitidos?".

A segunda pergunta pode ser respondida automaticamente por uma ferramenta de validação. A primeira depende de uma avaliação humana que varia de revisor para revisor. E num contexto onde modelos serão consumidos por agentes de IA, apenas a segunda pergunta garante a previsibilidade necessária para que o agente opere com confiança.

Incorporar determinismo como critério de projeto significa, concretamente: definir os IDS antes de começar a modelagem, incluí-los como anexo ao contrato, executar validações automáticas ao longo do desenvolvimento — não apenas na entrega final — e tratar falhas de validação com a mesma seriedade que se trata um clash estrutural. Um clash estrutural pode matar alguém. Uma falha semântica num modelo que alimenta decisões de manutenção de infraestrutura crítica pode ter consequências igualmente sérias — apenas mais difíceis de rastrear até a causa raiz.

O que muda na prática para gestores e coordenadores

Para quem não programa agentes de IA — e esse é o público central deste livro —, a questão prática é: o que eu posso fazer, hoje, para mover os modelos sob minha responsabilidade em direção à zona segura do espectro?

A resposta não envolve ferramentas novas nem conhecimento técnico avançado. Envolve três mudanças de processo que qualquer coordenador ou gestor pode implementar:

Primeiro: incluir critérios semânticos nos planos de execução BIM. Não apenas "modelo deve ter propriedades de O&M", mas "modelo deve ter as

propriedades definidas no IDS anexo, validadas por ferramenta X antes de cada entrega". Isso torna o critério verificável e remove a ambiguidade da relação contratual.

Segundo: exigir relatórios de validação junto com as entregas. Assim como uma entrega de estrutura vem acompanhada de laudos de ensaio, uma entrega BIM deveria vir acompanhada de um relatório de validação IDS que demonstre, objetivamente, que os dados exigidos estão presentes e corretos. Isso não é burocracia — é evidência.

Terceiro: pensar nos usuários finais do modelo como incluindo sistemas automatizados. Quando as exigências de informação são definidas, a pergunta deve ser não apenas "o que o engenheiro de O&M precisa ver?", mas também "que perguntas um agente precisará responder usando esse modelo nos próximos dez anos?". Essa pergunta, feita cedo o suficiente, muda fundamentalmente o que se exige de uma entrega BIM.

No próximo capítulo, vamos explorar quem, dentro de uma organização, deveria ser responsável por fazer essas perguntas — e por garantir que as respostas se traduzam em dados de qualidade nos modelos entregues.

Capítulo 7 — O Arquiteto de Dados BIM

"Uma nova profissão não nasce de um decreto. Ela nasce de um problema que ninguém mais está resolvendo." — anônimo

Ao longo dos seis capítulos anteriores, construímos um argumento em camadas: que modelos BIM têm uma dívida semântica acumulada que nunca foi urgente o suficiente para ser paga; que agentes de IA chegaram para cobrar essa dívida de forma abrupta e sem negociação; que as ferramentas para estruturar dados de qualidade — bSDD, IDS, a própria hierarquia relacional do IFC — existem e estão disponíveis; e que o principal obstáculo para usá-las não é técnico, mas organizacional. Falta clareza sobre quem, dentro de uma equipe de projeto, é responsável por fazer as perguntas certas sobre dados — e garantir que as respostas se traduzam em modelos consultáveis.

Este capítulo é sobre essa pessoa. Sobre o papel que ainda não tem nome fixo no mercado, mas que já existe em fragmentos distribuídos entre coordenadores BIM, gestores de ativos, analistas de dados e engenheiros que descobriram, muitas vezes por tentativa e erro, que qualidade de dado é uma decisão estratégica antes de ser uma tarefa técnica.

Vou chamar esse papel de Arquiteto de Dados BIM. Não como título de cargo a ser adotado imediatamente por nenhuma empresa, mas como descrição de um conjunto de competências e responsabilidades que o mercado vai, inevitavelmente, precisar formalizar — e que os

profissionais que as desenvolverem agora estarão em posição privilegiada quando isso acontecer.

O que esse papel não é

Antes de descrever o que o Arquiteto de Dados BIM faz, vale delimitar o que ele não é — porque as confusões são previsíveis e importa evitá-las desde o início.

Não é o modelador BIM. O modelador é o profissional que opera as ferramentas de modelagem para produzir geometria e preencher propriedades. Ele executa decisões de dados, mas não necessariamente as define. A distinção é análoga à diferença entre o pedreiro que levanta uma parede exatamente como foi especificada e o arquiteto que decidiu onde a parede seria, de que material e com que espessura. Ambos são essenciais. São papéis diferentes.

Não é o especialista em TI de BIM. O profissional de TI que mantém servidores de CDE, configura pipelines de exportação e garante que os arquivos estejam nos formatos corretos cumpre uma função de infraestrutura imprescindível. Mas infraestrutura de dado e arquitetura de dado são coisas distintas: uma garante que o dado flua, a outra define o que o dado significa e como deve ser estruturado para ser útil.

E, finalmente, não é o cientista de dados ou o engenheiro de IA. Esses profissionais trabalham do lado do agente — constroem os sistemas que vão consumir os modelos. O Arquiteto de Dados BIM trabalha do lado do modelo — garante que o que o agente vai encontrar lá seja suficientemente rico e consistente para que o agente funcione de forma confiável. São complementares, não intercambiáveis.

O que esse papel é

O Arquiteto de Dados BIM é o profissional que conecta dois mundos que raramente conversam com a profundidade necessária: o mundo do domínio construtivo — o que cada elemento de um projeto significa, como funciona, que propriedades são relevantes para sua operação e manutenção — e o mundo da computabilidade — como sistemas automatizados leem, interpretam e raciocinam sobre dados.

Na prática, isso se traduz em um conjunto de responsabilidades que podem ser agrupadas em três eixos. O primeiro é o eixo da definição: quais dados um modelo precisa conter, para quais fins, em que fase do ciclo de vida. Isso envolve trabalhar com os stakeholders do projeto — não apenas a equipe técnica — para entender quais perguntas o modelo precisará responder dez, vinte, trinta anos depois de construído. E traduzir essas perguntas em especificações concretas de informação, referenciadas em vocabulários compartilhados e formalizadas em IDS.

O segundo é o eixo da validação: garantir que o que foi especificado seja efetivamente entregue. Isso envolve estabelecer critérios de aceitação verificáveis, definir ferramentas e processos de validação automática, e integrar esses processos ao fluxo de entrega do projeto — não como uma auditoria de final de fase, mas como verificação contínua que permite identificar e corrigir problemas enquanto ainda é barato fazê-lo.

O terceiro é o eixo da governança: manter a consistência dos dados ao longo do tempo e entre projetos. Isso envolve construir e manter ontologias de domínio — dicionários de dados específicos para o setor ou

organização —, definir políticas de nomenclatura e classificação, e garantir que o conhecimento sobre como estruturar dados de qualidade não fique preso na cabeça de uma ou duas pessoas, mas seja sistematizado e transferível.

Por que esse papel está emergindo agora

A pergunta legítima é: se esse conjunto de responsabilidades faz sentido, por que ele não foi formalizado antes? A resposta está na mudança do custo de não fazê-lo.

Durante a maior parte da história do BIM, o custo de dados semanticamente pobres era retrabalho humano — caro e frustrante, mas absorvível. Um engenheiro passava algumas horas consolidando informações que deveriam estar no modelo mas não estavam. Uma equipe de operação mantinha planilhas paralelas porque o modelo não era confiável o suficiente para ser consultado diretamente. Esse custo existia, mas era invisível — estava embutido no custo operacional normal de gerir um ativo construído.

Com agentes de IA entrando nos fluxos de trabalho de construção e operação, esse custo muda de natureza. Um agente operando sobre dados inconsistentes não produz retrabalho — produz decisões erradas. E decisões erradas em contextos de infraestrutura — cronogramas de manutenção, inspeções de segurança, planejamento de reforma — têm consequências que vão muito além do custo de uma planilha extra. O custo de não ter um Arquiteto de Dados BIM deixou de ser operacional e passou a ser estratégico e, em alguns contextos, de risco.

Há também um fator de mercado. À medida que contratos de obras públicas e grandes projetos privados passam a exigir modelos IFC com qualidade semântica verificável — tendência já visível em países com programas BIM mandatórios mais maduros —, as organizações que não tiverem profissionais capazes de especificar, validar e governar essa qualidade vão simplesmente perder contratos. Não por falta de capacidade técnica de modelagem, mas por falta de capacidade de garantir que os dados entregues atendam aos critérios de qualidade exigidos.

Como desenvolver esse perfil

O Arquiteto de Dados BIM não existe como formação acadêmica estruturada — pelo menos não ainda. O perfil se constrói, hoje, a partir de uma combinação de competências que normalmente vivem em silos separados.

A base é o conhecimento de domínio construtivo: entender profundamente como edifícios e infraestruturas funcionam, quais são os elementos relevantes em cada tipologia, quais propriedades são críticas para cada fase do ciclo de vida. Esse conhecimento não pode ser substituído por ferramentas. Ele é o que permite distinguir quais dados realmente importam de quais são ruído — e é o que o diferencia de um especialista genérico em dados que não conhece construção.

Sobre essa base, precisam ser desenvolvidas três competências adicionais: familiaridade com os padrões de dados abertos do setor — IFC, bSDD, IDS, e como eles se articulam; capacidade de especificar requisitos de informação de forma verificável, traduzindo necessidades de negócio em critérios técnicos precisos; e entendimento

de como sistemas automatizados consomem dados, sem necessariamente saber programá-los — o suficiente para antecipar o que um agente vai precisar encontrar no modelo para funcionar de forma confiável.

Essa última competência é talvez a mais nova e a menos desenvolvida no mercado atual. É também a mais estratégica. O profissional que consegue sentar com um desenvolvedor de agentes de IA e uma equipe de coordenação BIM e fazer as perguntas certas para os dois grupos — traduzindo entre a linguagem do dado estruturado e a linguagem do domínio construtivo — é um profissional raro. E raridade, quando combinada com relevância crescente, é uma posição de mercado.

O momento é agora

Há uma janela de oportunidade específica que vale nomear explicitamente. Estamos num momento em que a tecnologia de agentes de IA já existe e está sendo adotada, mas os processos, contratos e perfis profissionais que deveriam acompanhar essa adoção ainda não foram formalizados. Esse intervalo — entre a chegada da tecnologia e a formalização das práticas que ela exige — é exatamente quando os primeiros movedores constroem vantagens duradouras.

As organizações que investirem agora em desenvolver esse perfil internamente, ou em contratar profissionais que já o têm, não vão apenas entregar melhores modelos BIM. Vão estar em posição de definir os padrões que outros vão seguir — os vocabulários que vão ser adotados, os IDS que vão se tornar referência, as práticas de governança que vão aparecer nos editais de grandes contratos. Isso é influência de mercado, construída sobre competência técnica.

Para o profissional individual, a janela é igualmente clara. A formalização desse papel vai acontecer — a questão é quando e quem vai estar posicionado para ocupá-lo quando isso acontecer. Os profissionais que chegarem a esse espaço antes da formalização, com histórico documentado de entregas de qualidade semântica, serão as referências que o mercado vai buscar quando precisar nomear e contratar para esse papel.

No capítulo seguinte, o último deste livro, vamos fechar o argumento inteiro: o que fazer agora, concretamente, seja você um gestor que quer iniciar essa transição em sua organização, seja um profissional que quer construir esse perfil para si mesmo. A janela está aberta. A questão é o que fazer com ela.

Conclusão — A janela de dois a três anos

"O futuro já chegou — só não está uniformemente distribuído." — William Gibson

Este livro começou com uma observação simples: modelos BIM bonitos enganam. O que parece completo na tela pode ser, por dentro, semanticamente vazio — e essa diferença, que durante décadas foi absorvida pela tolerância e pelo conhecimento tácito dos profissionais que liam esses modelos, tornou-se subitamente consequente. O agente de IA que passou a fazer perguntas ao modelo não tem tolerância. Não tem conhecimento tácito. Lê exatamente o que está lá — e produz respostas proporcionais à qualidade do que encontra.

Percorremos o que isso significa em detalhe: a diferença entre formato e semântica, entre classificação e significado, entre exigir e especificar. Vimos como bSDD e IDS existem precisamente para preencher as lacunas que o IFC, deliberadamente, deixa abertas — e como essas ferramentas ainda são subutilizadas no mercado brasileiro. Vimos por que o comportamento de um agente é diretamente proporcional à qualidade do dado que o alimenta, e por que isso transforma qualidade semântica de detalhe de boas práticas em critério de risco. E vimos que tudo isso aponta para um papel profissional que ainda não tem nome consolidado, mas que o mercado vai precisar formalizar — o Arquiteto de Dados BIM.

Esta conclusão não é um resumo. É uma agenda. Dois públicos distintos estão lendo este livro, e cada um precisa de um ponto de partida diferente.

Para gestores e organizações: o que fazer agora

Se você lidera uma organização — uma construtora, uma incorporadora, um órgão público, um escritório de projeto — e quer que essa organização esteja bem posicionada para a próxima onda de automação em construção e infraestrutura, há três movimentos concretos que fazem sentido agora, independentemente do tamanho ou maturidade digital do seu contexto.

O primeiro é auditar o que você já tem. Antes de investir em novas ferramentas ou processos, vale entender onde você está. Escolha dois ou três projetos entregues recentemente e aplique o teste da pergunta inesperada: faça ao modelo uma pergunta operacional real — sobre manutenção, sobre conformidade, sobre ciclo de vida — e observe até onde o dado consegue responder sem

intervenção manual. O resultado vai ser revelador. Na maioria dos casos, vai mostrar que o gap entre o que o modelo contém e o que ele deveria conter para alimentar qualquer automação séria é maior do que qualquer estimativa intuitiva.

O segundo é começar pelo contrato, não pela ferramenta. A tentação natural é buscar a ferramenta que vai resolver o problema — um software de validação, uma plataforma de gestão de ativos com IA, um novo CDE. Essas ferramentas existem e são úteis. Mas nenhuma delas funciona sobre dados ruins. O ponto de alavancagem mais alto não é a ferramenta — é o contrato. Incluir critérios semânticos verificáveis nos contratos de modelagem, exigir relatórios de validação IDS nas entregas, definir quais vocabulários do bSDD serão referenciados — essas são decisões contratuais que custam pouco para implementar e criam uma fundação sobre a qual qualquer ferramenta vai funcionar melhor.

O terceiro é investir no perfil, não apenas na certificação. Há uma diferença entre um profissional que fez um curso sobre IDS e um profissional que sabe especificar critérios de dado a partir de necessidades de negócio reais. O primeiro conhece a ferramenta. O segundo entende o problema. Ambos são necessários, mas o segundo é o que vai fazer a diferença quando a organização precisar, de fato, preparar seus modelos para serem consumidos por agentes. Identificar quem dentro da sua organização está desenvolvendo esse segundo perfil — e dar a essa pessoa espaço e responsabilidade para aplicá-lo — é um investimento de médio prazo com retorno de longo prazo.

Para profissionais: como construir o perfil agora

Se você é um profissional individual — coordenador BIM, engenheiro de projetos, consultor, especialista em dados de construção — e quer estar bem posicionado para o momento em que o papel de Arquiteto de Dados BIM for formalizado, a agenda é igualmente concreta.

Comece pela profundidade, não pela amplitude. O perfil que o mercado vai precisar não é o de alguém que conhece superficialmente muitas ferramentas — é o de alguém que entende profundamente um domínio construtivo específico e sabe como estruturar os dados desse domínio para máxima consultabilidade. Escolha um setor — edificações comerciais, infraestrutura de mobilidade, saneamento, o que fizer mais sentido para sua trajetória — e vá fundo. Aprenda quais elementos são relevantes, quais propriedades são críticas em cada fase do ciclo de vida, quais são as perguntas que gestores de ativo fazem sobre esses projetos anos depois da entrega. Essa profundidade de domínio é o que vai diferenciar seu trabalho do de um especialista genérico em dados.

Sobre essa base, construa familiaridade com os três padrões que estruturam este livro: IFC, bSDD e IDS. Não necessariamente como desenvolvedor — você não precisa saber programar para ser um Arquiteto de Dados BIM competente. Mas como especificador: alguém que sabe o que exigir, como verificar e o que fazer quando a entrega não atende. A buildingSMART oferece certificações que cobrem esses padrões; o Open BIM Academy e plataformas similares oferecem cursos em português. O investimento em formação aqui paga dividendos específicos: você passa a falar uma língua que a maioria dos seus pares ainda não fala.

Documente o que você faz. Um dos ativos mais valiosos que você pode construir agora é um histórico

documentado de entregas de qualidade semântica — IDS que você especificou, validações que você executou, modelos que você preparou para serem consultados por sistemas automatizados. Quando o mercado formalizar esse papel e começar a contratar para ele, quem tiver histórico documentado vai ter uma vantagem enorme sobre quem tiver apenas conhecimento declarado.

E por último: posicione-se nas comunidades onde essa conversa está acontecendo. O buildingSMART Brasil, o BIM Fórum Brasil, os comitês técnicos que estão desenvolvendo os padrões que vão guiar o mercado nos próximos anos — esses são os espaços onde as decisões sobre vocabulários, sobre IDS de referência, sobre critérios de qualidade semântica estão sendo tomadas agora. Presença ativa nesses espaços não é apenas networking — é influência sobre os padrões que vão definir a próxima década do setor.

A janela específica

O título desta conclusão menciona uma janela de dois a três anos. Vale explicar por que esse recorte temporal específico.

Estamos num momento em que várias coisas são verdadeiras ao mesmo tempo: a tecnologia de agentes de IA aplicada a BIM existe e está sendo adotada em projetos reais; os contratos e processos que deveriam acompanhar essa adoção ainda não foram formalizados na maioria dos mercados; os padrões de dados abertos que tornam isso possível — IFC 4.3, bSDD atualizado, IDS — estão maduros o suficiente para uso em produção, mas ainda são desconhecidos para a maioria dos profissionais; e no Brasil especificamente, o Decreto BIM está empurrando

adoção mas ainda há poucos profissionais com a combinação certa de competências.

Essa combinação de fatores não vai durar indefinidamente. Nos próximos dois a três anos, contratos de grandes obras vão começar a incluir critérios semânticos verificáveis como padrão, não como exceção. Ferramentas de validação IDS vão se tornar tão comuns quanto ferramentas de clash detection. O perfil de Arquiteto de Dados BIM vai ganhar nome formal e descrição de cargo em organizações pioneiras. E quando isso acontecer, a janela de vantagem para quem chegou antes vai começar a fechar.

Não é uma janela de urgência ansiosa — é uma janela de oportunidade clara. O setor de construção e infraestrutura no Brasil tem uma característica que torna essa janela ainda mais valiosa: é um mercado grande, com muitos projetos complexos, com demanda crescente por gestão de ativos inteligente, e com pouquíssimos profissionais que hoje combinam domínio construtivo profundo com domínio de dados abertos. Essa escassez é, ao mesmo tempo, o diagnóstico e a oportunidade.

O modelo que fala

O título deste livro afirma que o modelo não fala sozinho. É verdade — e continuará sendo verdade por um bom tempo. Modelos BIM precisam de profissionais que entendam o que eles deveriam conter, que especifiquem isso com precisão, que validem a entrega e que mantenham a qualidade ao longo do tempo. Isso não vai mudar.

O que vai mudar — e já está mudando — é quem ouve o modelo quando ele fala. Durante décadas, o único ouvinte

era o humano com software aberto na tela. Esse ouvinte vai continuar existindo. Mas ele vai ganhar companhia: sistemas automatizados, agentes de IA, pipelines de análise que consultam modelos sem intervenção humana a cada passo. E esses novos ouvintes têm exigências diferentes, mais literais, menos tolerantes com ambiguidade.

Preparar os modelos para esses novos ouvintes não é trair os antigos. É expandir o alcance do modelo — fazer com que o mesmo dado que serve ao engenheiro humano que abre o visualizador também sirva ao agente que responde a uma pergunta de manutenção às três da manhã sem que ninguém precise estar acordado para intermediar. É fazer com que o investimento em modelagem — que é real, que é caro, que é feito uma vez por projeto — renda valor não apenas durante a obra, mas ao longo de toda a vida útil do ativo.

Esse é o argumento central deste livro, formulado de uma última vez: qualidade semântica de dado BIM não é uma questão técnica para especialistas. É uma questão estratégica para qualquer organização que construa, opere ou gerencie ativos físicos. E o momento para investir nisso é agora — antes que as consequências de não investir se tornem tão óbvias que a janela de vantagem já tenha fechado.

O modelo está prestes a começar a falar com muito mais pessoas do que jamais falou. A questão é se ele vai ter algo útil a dizer.